



2  
2 ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"

INSTALACION ELECTRICA DE LA EXCAVACION DEL  
COLECTOR SEMIPROFUNDO DEL SISTEMA  
DE DRENAJE PROFUNDO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

GERARDO ARROYO SALDAÑA



**ENEP**  
ARAGON

MEXICO, D. F.

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.

## INTRODUCCION

El Sistema de Drenaje Profundo es una de las obras más importantes que actualmente esta llevando a cabo el Departamento del Distrito Federal; a pesar de no tener gran publicidad, pues como es sabido no es una obra que pueda apreciarse y a la que muchos tengan acceso; la importancia de dicha obra es el servicio que ofrecerá al ser concluida. El presupuesto asignado en su construcción es quiza uno de los más fuertes, pues a pesar de haberse iniciado hace ya algunos años aún no se ha concluido, pues el costo del metro excavado es muy elevado dado que se tiene que emplear herramienta especializada.

Dada la envergadura de la obra se tiene que emplear una gran cantidad de personal, equipos y materiales para un trabajo de 24 horas seis dias a la semana. Debido a esto y considerando que el equipo empleado en la excavación es en un 95% eléctrico surge la necesidad de manejar líneas de alimentación de energía eléctrica a veces en espacios reducidos, por lo que el manejo de la misma toma un lugar muy importante en obras de este tipo.

La finalidad de esta tesis es proponer un diagrama de instalación eléctrica basado en las necesidades de la obra con el correspondiente cálculo de protecciones a fin de evitar accidentes tanto al equipo como al personal, así como también hacer énfasis en la manera adecuada de realizar algunas maniobras en el equipo, ya que dada la naturaleza de la construcción algunas veces se cometen errores al reparar algún equipo de primera mano o provisionalmente.

En el primer capítulo se explica el desarrollo histórico del sistema de drenaje en nuestro país y como se llega a la elección del sistema que opera por gravedad. En él se expone como está conformado dicho sistema y como operará. Se justifica también la elección del procedimiento constructivo.

En el segundo capítulo se habla de la operación del escudo con presión de fluidos al frente y de todos los equipos complementarios a él. Se explica la carga que representa cada uno de los equipos desde el punto de vista eléctrico.

En el tercer capítulo se hace una descripción de subestaciones eléctricas a fin de ubicar el tipo de subestación con la que trabajaremos. También se lleva a cabo el cálculo del alumbrado para el túnel y la elección de luminarias más conveniente según nuestro caso. Al final de este capítulo se lleva a cabo el cálculo de las protecciones para el equipo eléctrico con el que se trabajará. Cabe aclarar que antes de la realización de este trabajo existía un diagrama de instalación eléctrica con el que se había venido trabajando, pero en lo personal resulta una equivocación seguir su diseño y aplicabilidad para todas las lumbreras, ya que no todos los túneles tienen la misma longitud y no se trabaja con la misma cantidad de equipo, de allí el hecho de proponer este proyecto de instalación eléctrica.

El cuarto capítulo puede decirse que es una extensión o continuación del anterior pues en él se continúa haciendo una descripción de componentes y equipo de una instalación eléctrica en general (conductores, motores, arrancadores,

etc.). También se hace hincapié en la coordinación de protecciones a fin de tener una instalación eléctrica adecuadamente protegida y que mantenga la selectividad en la operación de protecciones. Se llevan a cabo los cálculos de corto-circuito a fin de seleccionar protecciones que son predominantemente fusibles, se elaboran los planos de coordinación para las diferentes rutas con el objeto de modificar si fuera necesario los valores de los fusibles, pues como son elementos no ajustables no existe otra opción.

En el capítulo cinco se dan algunas recomendaciones acerca de mantenimiento y supervisión a equipo, pues como de la experiencia que pude adquirir al trabajar en esta excavación noté el descuido en cuanto a ciertos aspectos por parte de los electricistas que al ocurrir algún tipo de falla solucionan de primera mano sin tomar en consideración si aquella solución provisional no perjudicará al equipo o al personal que labora cerca de los equipos en un futuro no lejano.

## INDICE

Capítulo uno	Antecedentes y composición del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal	1
I.1	Antecedentes	2
I.2	El Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal	7
I.3	Criterio para la elección del procedimiento constructivo	12
I.3.1.	Ventajas	14
I.3.2.	Desventajas	14
Capítulo dos	Descripción del equipo y funcionamiento del Escudo Excavador con Presión de Fluidos al Frente	16
II.1	Elementos que componen al equipo	18
II.1.1.	Cuerpo del escudo	18
II.1.2.	Sistema cortador	19
II.1.3.	Sistema de empuje	22
II.1.4.	Colocador de dovelas	24
II.1.5.	Sistema de circulación de lodos	24
II.1.6.	Tren de equipo auxiliar	30
II.2	Funcionamiento del escudo	41
II.3	Sistemas, equipos e instalaciones complementarias	46
II.3.1.	Sistema de lodos	46
II.3.2.	Lumbrera	47
II.3.3.	Oficinas y talleres	50

Capítulo tres	Diagrama unifilar de la obra	51
III.1	Descripción de la subestación eléctrica	53
III.1.1.	Clasificación	53
III.1.2.	Nomenclatura y simbología	54
III.1.3.	Descripción del equipo de una subestación	57
III.1.3.1.	Transformadores de potencia	57
III.1.3.2.	Interruptores	59
III.1.3.3.	Cuchillas	59
III.1.3.4.	Fusibles	59
III.2	Cálculo del alumbrado para el túnel	69
III.3	Memoria de cálculo para equipo de la obra	76
III.3.1.	Cárcamos y ventiladores	77
III.3.2.	Lumbrera, superficie, túnel y compresor	82
III.3.3.	Escudo, traspaleo, alumbrado y ventilación	88
Capítulo cuatro	Cálculo para programación de instalación de equipo e intercambio de protecciones según el avance de la obra	107
IV.1	Conductores	109
IV.1.1.	El conductor	109
IV.1.2.	Materiales aislantes empleados en los conductores para instalaciones interiores	111
IV.1.3.	Composición del conductor	112
IV.1.4.	Caída de voltaje	115
IV.1.5.	Cálculo del efecto inductivo en la línea de 2300 V	118

IV.2 Motores	119
IV.2.1. Concepto	119
IV.2.2. Protección de los motores	120
IV.2.3. Características y condiciones de funcionamiento	121
IV.2.4. Ejemplos de cálculo de la capacidad del motor	122
IV.2.4.1. Cálculo de la potencia del sistema monorriel del polipasto	122
IV.2.4.2. Cálculo de la potencia del árbol principal	123
IV.3 Controladores	126
IV.3.1. Propósito del controlador	126
IV.3.2. Control manual	127
IV.3.3. Arrancadores magnéticos para el voltaje de línea	128
IV.4 Coordinación de protecciones	132
IV.4.1. Concepto	132
IV.4.2. Relación tiempo-corriente en el fusible	133
IV.4.3. Coordinación fusible-fusible	135
IV.4.4. Crecimiento de la carga instalada	138
IV.4.5. Memoria de cálculo de la coordinación	139
 Capítulo cinco	
Recomendaciones para implementación de un programa de mantenimiento preventivo	181
 V.1 Antecedentes	183
V.2 Pruebas de campo para cables aisladores de alta tensión	187



V.2.1. Prueba de resistencia de aislamiento	187
V.2.2. Prueba de cables de alta tensión	192
V.3 Selección y mantenimiento de maquinaria eléctrica	195
Conclusiones	207
Bibliografía	208

**I. ANTECEDENTES Y COMPOSICION DEL SISTEMA  
DE DRENAJE PROFUNDO DEL  
DISTRITO FEDERAL**

## **CONTENIDO**

### **I.1 ANTECEDENTES**

### **I.2 EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DEL DISTRITO FEDERAL**

### **I.3 CRITERIO PARA LA ELECCION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

#### **I.3.1 VENTAJAS**

#### **I.3.2 DESVENTAJAS**

## I.1 ANTECEDENTES

Desde la época prehispánica los habitantes del Valle de México tuvieron que luchar con el agua, pues aunque no se dieron grandes tormentas bastó con que los veranos fueran lluviosos para que los niveles de los lagos crecieran más allá de lo normal ya que no existían desagües.

Los primeros asentamientos indígenas se dieron en islotes y riberas de los lagos, pero a medida que se asentaron los aztecas Tenochtitlán se extendió hacia las superficies cercanas a las aguas; por consiguiente el aumento en los niveles de los lagos traería consigo mayores daños.

Tiempo más tarde, en el año 1450 Netzahualcōyotl, rey de Texcoco por comisión del rey Moctezuma, dirigió la construcción de un albarradón de más de 12 Km de longitud y 4 m de ancho para protección contra inundaciones. Obra que ayudó a disminuir el nivel de salinidad en las aguas, lo cual mejoraría los cultivos. Sin embargo, esta obra sólo contenía las aguas y no las desalojaba del Valle.

Al iniciarse la conquista se tuvieron que abrir una serie de boquetes en el albarradón para el paso de embarcaciones.

Ya en épocas de la colonia, las autoridades tuvieron que tomar ciertas medidas debido a las tormentas que se presentaban, las cuales ocasionaron una serie de inundaciones, por lo cual en 1565 el Virrey de Velasco ordenó se construyera el albarradón de San Lázaro y se hiciera un proyecto para desagüe, el cual sería el primero en México.

A pesar de esta obra, en los años 1604 y 1607 hubo grandes inundaciones, para lo cual el Virrey ordenó se construyera un desagüe.

De hecho, fue Enrico Martínez quien propuso un proyecto de construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, dicho proyecto fue aceptado y en 1607 se dió la orden de construcción la cual llevó un año; así, México tendría su primera salida artificial de agua. Pero tiempo después, debido a que en dicha obra no se efectuó revestimiento, con el tiempo ocurrieron derrumbes inutilizando con esto el túnel. Por lo cual más tarde se optó por su sustitución, ahora un tajo o zanja evacuaría las aguas del Valle de México pero dicha construcción llevaría 160 años terminarla debido a frecuentes derrumbes e inundaciones; finalmente en 1789 se dió salida a las aguas en forma permanente.

Para el año de 1804, Humboldt al revisar las obras hidráulicas advirtió la necesidad de completar la obra de Enrico Martínez a través de un Gran Canal que drenara el Valle, pero dicho proyecto tuvo que retrasarse casi un siglo debido a la guerra de Independencia.

Ya en el siglo XIX debido a la salida por el tajo de Nochistongo se empezaron a alterar las condiciones ecológicas, pues el nivel de los lagos ya no crecía como antes, debido a esto se crearon zonas seguras para asentamientos por lo cual la población se extendió hacia las orillas, pero en épocas de lluvia dichas zonas se tornaban peligrosas cuando los ríos se desbordaban.

Para el año 1856, las inundaciones alarmaron a la población pues había zonas donde el nivel de agua alcanzaba

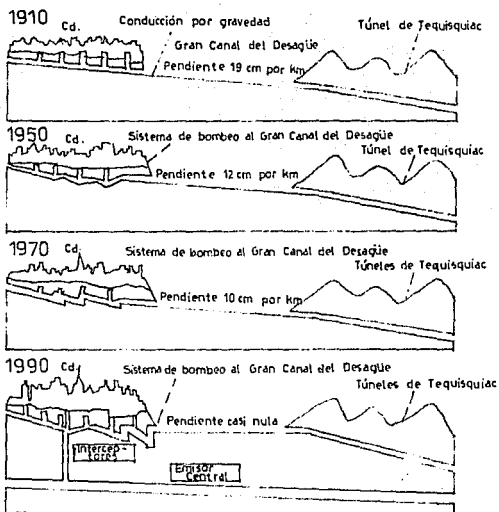
hasta 3 m, por lo cual se tuvo que abrir un concurso de proyectos de obras de desagüe ofreciéndose inclusive un premio. El mejor proyecto fue presentado por el ingeniero Francisco de Garay, el cual comprendía el Gran Canal y el túnel de Tequisquiác. Ambas obras comenzaron su construcción en 1900. A pesar de ello no fue una solución definitiva.

En el año 1930, se terminó la primera red de drenaje por gravedad, dicho sistema descargaba las aguas al Gran Canal y al Lago de Texcoco.

Dicho sistema resultó insuficiente pues debido al crecimiento demográfico y la expansión urbana ya no era eficiente. En esas épocas se dieron lugar una serie de grandes inundaciones, además se empezó a dar otro fenómeno: el hundimiento acelerado del suelo. Por lo cual se tuvo que pensar en ampliar el Gran Canal y construir el segundo túnel de Tequisquiác.

Hasta 1936, los hundimientos se mantuvieron en 6 cm por año, pero con la perforación de pozos profundos el hundimiento se incrementó a 18 cm por año, para después continuar y llegar a 30 y 50 cm anuales. A consecuencia de esto el drenaje proyectado para trabajar por gravedad tuvo que ser bombeado para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal, incrementándose así su costo de mantenimiento y operación. Así, en 1960 se construyó el interceptor y el Emisor del poniente para recepción y desalojo de aguas de la parte oeste.

Más adelante se requirió de un sistema de drenaje que no fuera afectado por los hundimientos del terreno, que tampoco requiriera de bombeo y que expulsara las aguas por una cuarta salida artificial, entonces se hizo necesaria la construcción del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.



EL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

Se necesitaba entonces un sistema basado en el marco histórico, geológico e hidrológico del Distrito Federal.

Dicho sistema es combinado, conduce tanto aguas de lluvia como residuales con una red primaria de 1,212 Km de longitud y una secundaria con 12,326 Km, con 66 plantas de bombeo, tanques de tormenta, cauces abiertos, ríos entubados, presas, lagunas y 63 Km de drenaje profundo.

En 1975 se concluyó la primera etapa del sistema, consta de varios interceptores que fluyen hacia un solo conducto para su evacuación, dicha obra no es afectada por hundimientos y funciona por gravedad.



## 1.2 EL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO

Actualmente está constituido por las siguientes estructuras:

### EMISOR CENTRAL

Comienza en Cuauhtepac en la delegación Gustavo A. Madero y descarga en el Río el Salto.

Su función es conducir fuera de la cuenca del Valle de México las aguas de los interceptores Centro-Poniente, Central y Oriente.

### INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

Dicho interceptor une los Interceptores Oriente y Central. Inicia en la Lumbra 1, ubicada en Dr. Durán y Dr. J.M. Vértiz para terminar en la lumbra 4 en Agiapambo y Fco. del Paso y Troncoso.

### INTERCEPTOR CENTRAL

Dicho conducto se encuentra desde la lumbra 4 en la esquina de las calles Dr. Vértiz y Obrero Mundial hasta la lumbra 0 del Emisor Central en Cuauhtepac.

1

<sup>1</sup> **LUMBRERA:** Es la abertura a nivel del piso que permite el descenso al túnel y por donde se introduce el equipo de excavación, además proporciona luz y ventilación.

#### INTERCEPTOR ORIENTE

Comienza en el Gran Canal de desagüe y termina en la lumbrera 0 del Emisor Central.

#### INTERCEPTOR CENTRO-PONIENTE

Inicia en la lumbrera 14 del Interceptor del Poniente y termina en la lumbrera 1 del Emisor Central en el Cerro del Tenayo.

#### INTERCEPTOR ORIENTE -SUR

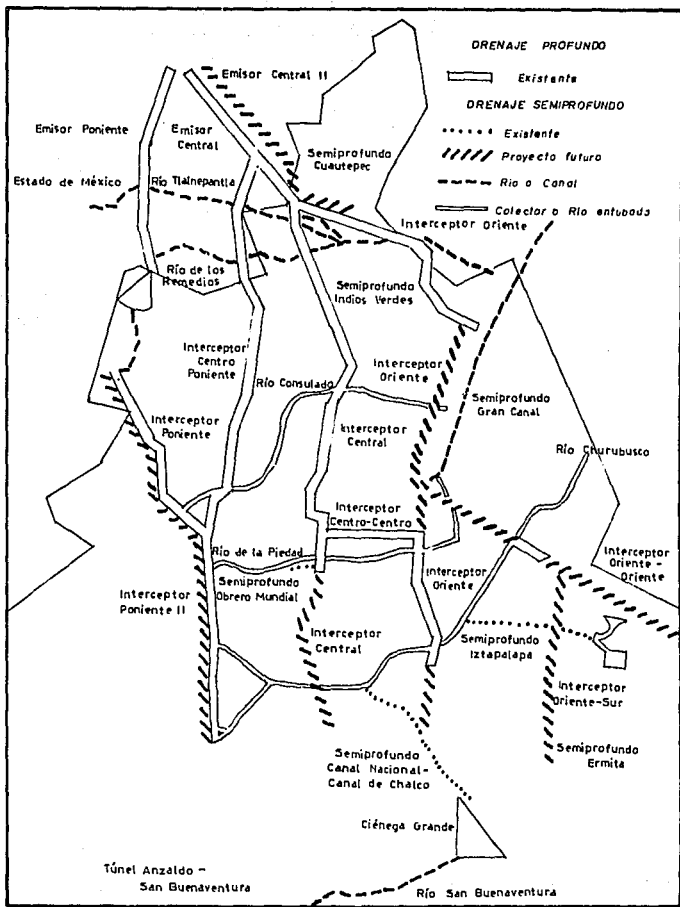
Inicia en la lumbrera 1 en la colonia Iztapalapa, para concluir en su primera etapa en la lumbrera 4 en Fco. del Paso y Troncoso esquina Calz. Zaragoza.

#### INTERCEPTOR ORIENTE-ORIENTE

Su trazo se inicia en la esq. norponiente de la Laguna de Regulación El Salado, para terminar en la lumbrera 6 del Interceptor Oriente-Sur.

#### COLECTOR SEMIPROFUNDO CANAL NACIONAL-CANAL DE CHALCO

Dicho Colector cuenta con 5.8 Km de longitud y 3.10 m de diámetro, mismo que llegará a la Laguna de Regulación Ciénega Grande. Sus aguas serán bombeadas por la Planta de Bombeo Miramontes al Interceptor Oriente o al Río Churubusco.



#### **COLECTOR SEMIPROFUNDO DE IZTAPALAPA**

Con una longitud de 5,500 m, capta las aguas de una gran parte de la delegación Iztapalapa y las conduce hasta la Planta de Bombeo Central de Abasto II, misma que las incorpora al Río Churubusco.

#### **COLECTOR SEMIPROFUNDO OBRERO MUNDIAL**

Con una longitud de 800 m, y un diámetro de 3.20 m y dos lumbreras. Está construido paralelamente al Río La Piedad.

Es así como queda conformado el Sistema de Drenaje del Distrito Federal.

## Drenaje Profundo y Semiprofundo

Obra Terminada

Obra	Longitud (km)	Diámetro (m)	Capacidad (m <sup>3</sup> /s)	Pendiente (m/km)	Profundidad (m)	
					min	max
Emisor	50	6.50	220	2	48	217
Interceptor Central	16	5	90	0.5	22	41
Interceptor Centro-Centro	3.7	5	90	.02	25	26
Interceptor Oriente	15	5	85	0.5	37	55
Interceptor Centro-Poniente	16.5	4	40	1.3	22	51
Colector Semiprofundo Iztapalapa	5.5	3.2	20	0.0	11.5	15.5
Colector Semiprofundo Obrero Mundial	0.8	3.2	20	1.5	10	16
Colector Semiprofundo Canal Nacional- Canal Chalco	3.2	3.1	20	0.15	15	17

### 1.3 CRITERIO PARA LA ELECCION DEL PROCEDIMIENTO

#### CONSTRUCTIVO

El equipo que se eligió para la excavación del Colector Semiprofundo fue el ESCUDO CON PRESION DE FLUIDOS AL FRENTE (Slurry Shield), debido a que en la Ciudad de México predominan las arcillas; pues para este tipo de suelos se tienen que tomar en cuenta dos aspectos: estabilidad del frente y deformaciones del terreno.

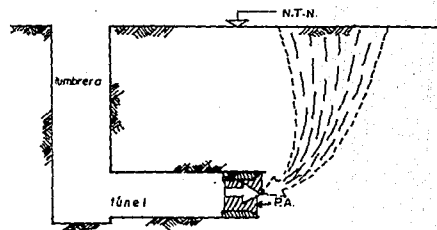
El método de Escudo con Presión de Fluidos al Frente permite la estabilidad del frente sin el menor riesgo de que este se colapse y además, deja el resto del túnel a la presión atmosférica normal.

Este método ha sido empleado para la construcción de subterráneos, alcantarillado, agua potable y otros túneles de utilidad. Por tanto, esta tecnología de tuneleo tiene ya una firme posición como procedimiento constructivo.

El método Slurry Shield tiene un sistema muy sofisticado con alta mecanización para asegurar un funcionamiento confiable.

Este método de tuneleo hizo su primera aparición en Japón hace ya más de veinte años donde también existen tierras blandas; desde entonces el sistema ha sido notablemente mejorado. Su aplicabilidad ha ido en aumento al poderse emplear en varios tipos de tierras.

El sistema de tuneleo Slurry Shield actualmente puede ser automáticamente controlado y operado a distancia.



PRESION ESTABILIZADORA POR MEDIO DE FLUIDOS

La idea fundamental del método es contrabalancear la presión del agua subterránea con presión de fluidos.

### I.3.1. VENTAJAS

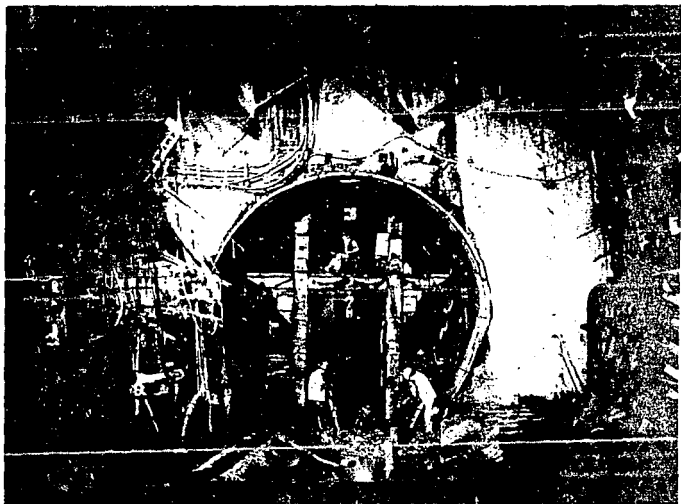
1. Como se mencionó anteriormente este método puede ser aplicado a diferentes tipos de tierras blandas con bastante seguridad.
2. El medio ambiente de trabajo y la eficiencia es mucho mejor que la de los métodos de aire comprimido.
3. El espacio de trabajo dentro del túnel no es sacrificado por las operaciones con los lodos gruesos, ya que estos son llevados al exterior a través de tuberías.
4. Es altamente mecanizado lo cual agiliza la excavación.

### I.3.2. DESVENTAJAS

1. No es aplicable donde existen gravas grandes, es decir más grandes que los orificios de las compuertas de la cabeza cortadora.
2. Los suelos como la arcilla pueden incrementar el costo del proceso de tratamiento de lodos.

Como puede observarse son mas las ventajas que ofrece el método y la facilidad con que el equipo se adapta al suelo de la Ciudad de México.





Escudo de frente abierto utilizado en el proceso constructivo de aire comprimido.

**II. DESCRIPCION DEL EQUIPO Y FUNCIONAMIENTO  
DEL ESCUDO EXCAVADOR CON PRESION  
DE FLUIDOS AL FRENTE**

## **CONTENIDO**

### **II.1 ELEMENTOS QUE COMPONEN AL EQUIPO**

**II.1.1 CUERPO DEL ESCUDO**

**II.1.2 SISTEMA CORTADOR**

**II.1.3 SISTEMA DE EMPUJE**

**II.1.4 COLOCADOR DE DOVELAS**

**II.1.5 SISTEMA DE CIRCULACION DE LODOS**

**II.1.6 TREN DE EQUIPO AUXILIAR**

### **II.2 FUNCIONAMIENTO DEL ESCUDO**

### **II.3 SISTEMAS, EQUIPOS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS**

**II.3.1 SISTEMA DE LODOS**

**II.3.2 LUMBRERA**

**II.3.3 OFICINAS Y TALLERES**

## II.1 ELEMENTOS QUE COMPONEN EL EQUIPO

Un escudo excavador es una herramienta para excavar túneles en suelos inestables, es decir con alto contenido de agua y extremadamente sensitivos. Surge como una opción ante el empleo de escudos de frente abierto que usan aire comprimido, donde debido a esto se tienen serias implicaciones médicas y de productividad.

Es a partir de 1984, cuando en México comienza el uso de escudos con presión de fluidos al frente.

Un escudo cortador consta de una serie de componentes y sistemas que contribuyen a su correcto funcionamiento, a saber un escudo cortador consta de:

### II.1.1. CUERPO DEL ESCUDO

Consiste en un cilindro metálico de 4.00 m de diámetro exterior y 5.95 m de largo, fabricado en acero. Se divide en tres espacios principales que son:

- a) CAMARA DE LODOS, que se encuentra limitada en su parte frontal por el cabezal cortador y en la parte posterior por una mampara metálica diseñada para soportar  $2.0 \text{ Kg/cm}^2$  de presión. Dicha mampara cuenta con dos puertas de inspección, así como dos agitadores cuya función es realizar una mezcla homogénea (suelo excavado + lodo suministrado) que será bombeada al exterior.

- b) **ZONA DE MECANISMOS**, es la parte central del escudo donde se encuentran alojados los elementos que componen los sistemas de transmisión del cortador, empuje y anillo colocador de dovelas.
- c) **ZONA DE COLOCACION DE DOVELAS**, es el lugar en donde se ensamblan las dovelas de concreto que forman el revestimiento primario del túnel. En la parte posterior de esta zona conocida como faldón se cuenta con tres sellos (dos de hule natural y uno de cerdas de alambre) cuya función es impedir el paso de la inyección de contacto entre dovela y terreno al interior del escudo.

## II.12. SISTEMA CORTADOR

- a) **CABEZA CORTADORA**. Es un disco de acero de 38 mm de espesor y 3.87 m de diámetro exterior, reforzado en su parte posterior para aumentar su rigidez y permitir soportar la carga del frente y el par de corte.

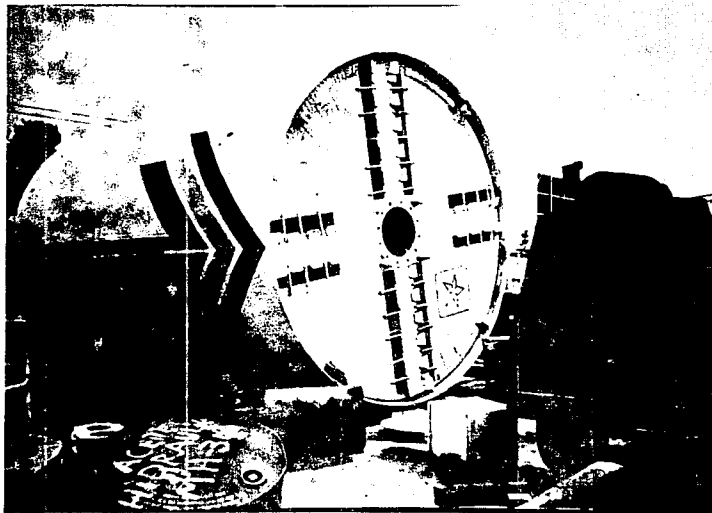
Para efectuar el corte del suelo la cabeza cortadora cuenta con doce ranuras o ventanillas provistas de dientes o cuchillas cortadoras, estratégicamente ubicadas las cuales pueden ser abiertas a voluntad mediante gatos hidráulicos.

Para efectuar el corte la transmisión proporciona un torque de 100 ton-m y una velocidad de rotación desde 0 hasta 2 rpm, pudiéndose girar en ambos sentidos.

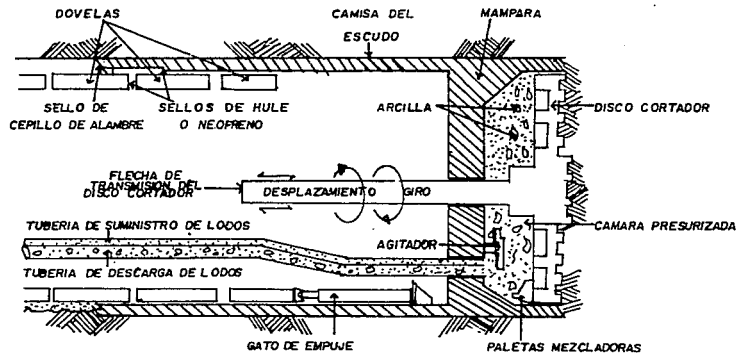
1

1 **DOVELA:** Es cada una de las piedras en figura de cuña para formar arcos o bóvedas.

CABEZA CORTADORA



CUERPO DEL ESCUDO



ESQUEMA DEL ESCUDO EXCAVADOR

En su parte posterior tiene instaladas unas paletas para mezclar el material excavado con el lodo de suministro.

- b) TRANSMISION. Su función es transmitir la fuerza y el movimiento rotacional a la cabeza cortadora. Para esto cuenta con los siguientes elementos:

4 motores hidráulicos  
4 piñones  
1 engrane principal o corona  
1 flecha o árbol

Las funciones principales de la flecha son transmitir el par y velocidad de rotación así como soportar la cabeza cortadora en el frente del escudo. Para realizar esta última actividad la cabeza cortadora se encuentra montada en la flecha mediante un escote y sujeta a esta por tornillos.

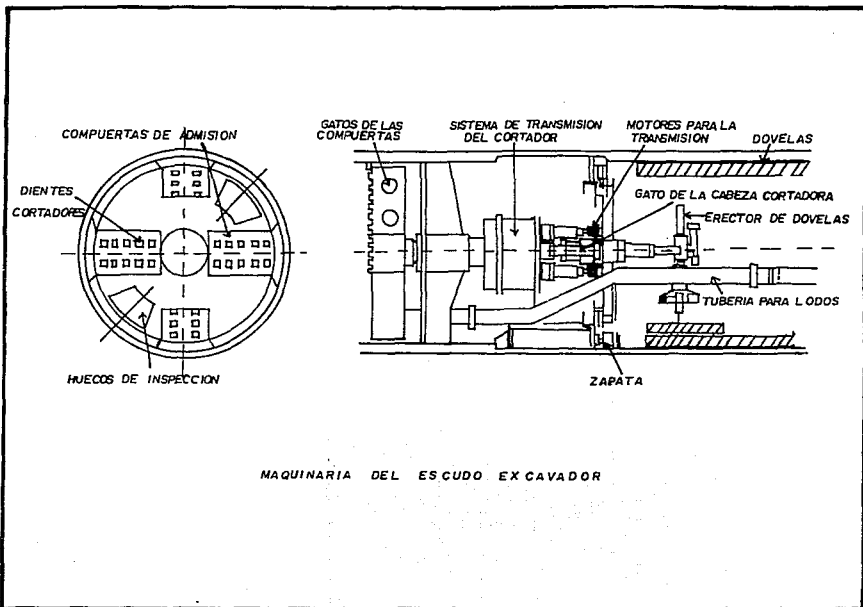
### II.13. SISTEMA DE EMPUJE

Para lograr el avance del escudo durante la excavación se cuenta con 16 gatos o cilindros oleohidráulicos de doble efecto distribuidos perimetralmente dentro del escudo.

La distribución de los gatos se efectuó con el objeto de tener mayor fuerza en la parte inferior, a fin de evitar que el escudo tienda a "clavarse".

Para el accionamiento de los gatos de empuje, cada uno cuenta con válvulas hidráulicas de 3 posiciones, 4 vías accionadas por solenoides.





El avance se logra apoyando los gatos en las dovelas del último anillo colocado.

La operación de los gatos se efectúa desde la cabina del operador.

#### II.14. COLOCADOR DE DOVELAS

Este sistema se utiliza para el montaje de las dovelas y es capaz de acoplar, deslizar, girar y colocar las dovelas en su posición final. Consta de un anillo dentado, brazo, gatos de extensión, deslizamiento y fijación, motor hidráulico y piñón.

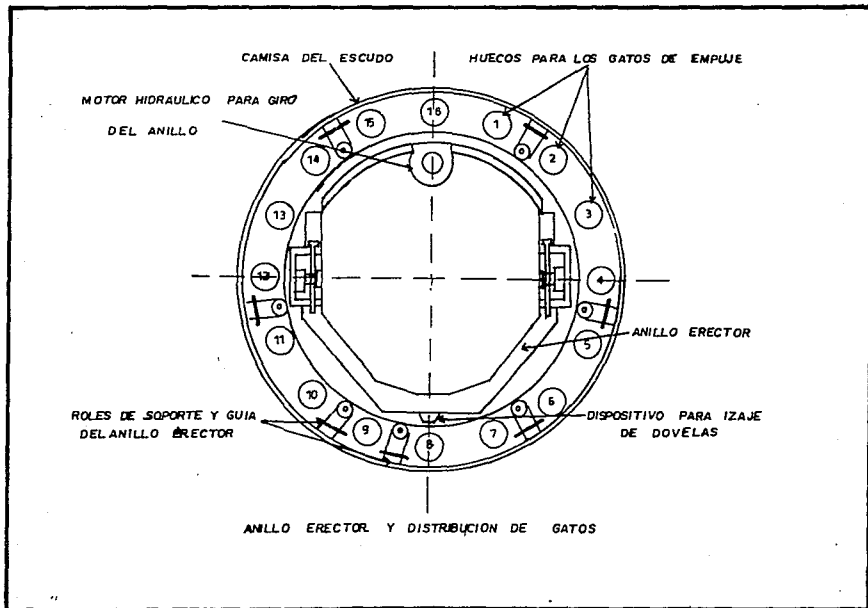
La operación del colocador se efectúa a control remoto por medio de una botonera colgante, lo cual permite al operador tener una mayor y mejor visibilidad de la zona de trabajo.

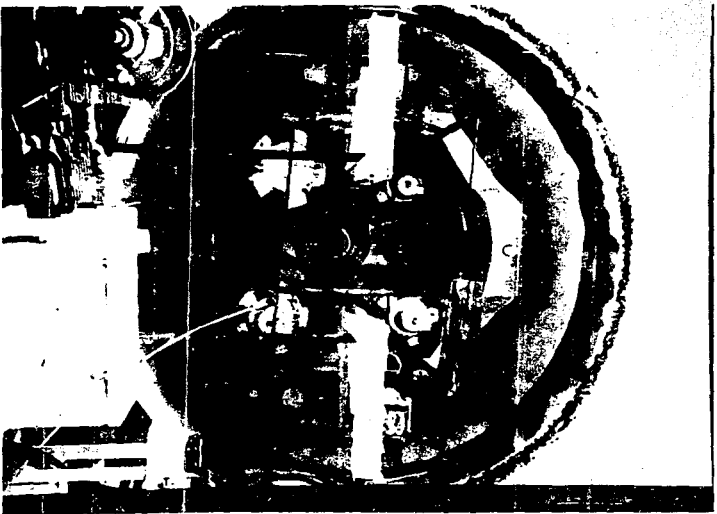
#### II.15. SISTEMA DE CIRCULACION DE LODOS

Las funciones principales de este sistema son la de suministrar la cantidad necesaria de lodo para soportar el frente de excavación y la de extraer el lodo mezclado de la cámara.

Para efectuar estas funciones se cuenta con los siguientes equipos:

- a) BOMBA DE SUMINISTRO. Es un equipo de bombeo del tipo centrífugo horizontal, capaz de proporcionar un gasto de  $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ , accionado por un motor eléctrico de 20 HP (Horse Power = Caballos de Potencia).





COLOCADOR DE DOVELAS

La velocidad rotacional se puede modificar mediante un variador de frecuencia, con la finalidad de lograr un rango diferente de caudal suministrado y con esto controlar la presión estabilizadora.

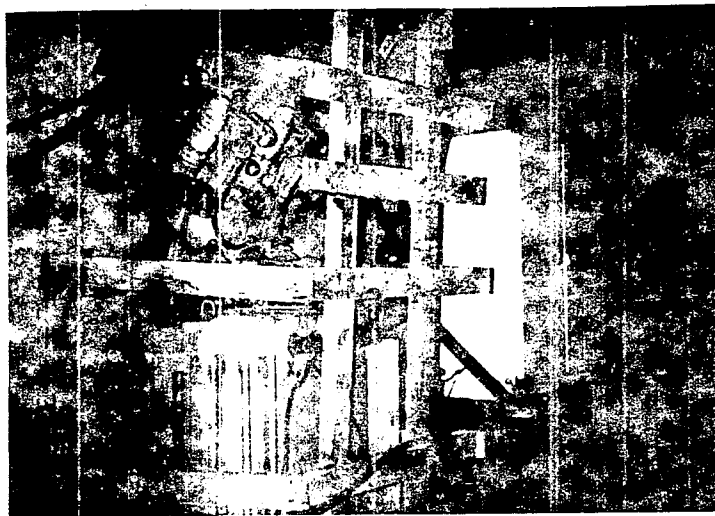
- b) **BOMBA DE DESCARGA.** Es un equipo similar al anterior, su función es desalojar el lodo mezclado de la cámara.
- c) **BOMBAS DE TRASPALCO.** Conforme avanza la excavación se hace necesario instalar bombas intermedias en el interior del túnel, para incrementar la energía al lodo y poder enviarlo a los cárcamos para lodos ubicados en la superficie. El equipo es similar al de suministro con la diferencia de tener una velocidad rotacional constante.

La separación entre las bombas es de aproximadamente 200 m. Cada equipo de bombeo de traspaleo cuenta con un transformador de energía eléctrica de 50 KVA, 2300/440 V, así como de un tablero de control para su operación.

- d) **TUBERIA TELESCOPICA.** Con el objeto de instalar un tramo normalizado de 6 m de tubería toda vez que se ha aumentado esa misma longitud, se cuenta con un sistema de tuberías telescópicas.
- e) **MEDIDORES DE FLUJO Y DENSIDAD.** El sistema para medición de volúmenes excavados por el escudo consiste en dos tubos magnéticos instalados en la tubería de suministro y descarga de lodos. Estos tubos emiten una señal misma que es amplificada y enviada a dos computadoras en las cuales se pueden leer el flujo instantáneo en cada tubería.



*BOMBA DE DESCARGA (TRASPALÉO)*



*SUBESTACION PARA EQUIPO DE TRASPALO*

## II.16. TREN DE EQUIPO AUXILIAR

Dentro del túnel inmediatamente atrás del escudo van siendo remolcados por este mismo los equipos auxiliares, indispensables para su operación y control. Estos equipos están instalados en "trucks" o carros montados sobre rieles para permitir su deslizamiento. Dichos equipos son los siguientes:

- a) CABINA DE CONTROL. En el interior de la cabina de control se localiza la consola de operación la cual contiene los siguientes equipos: diagrama mímico que indica los equipos de bombeo en operación, botones selectores de los gatos de empuje, amperímetros para los motores de la unidad hidráulica del cortador, indicador de voltaje de la alimentación eléctrica.

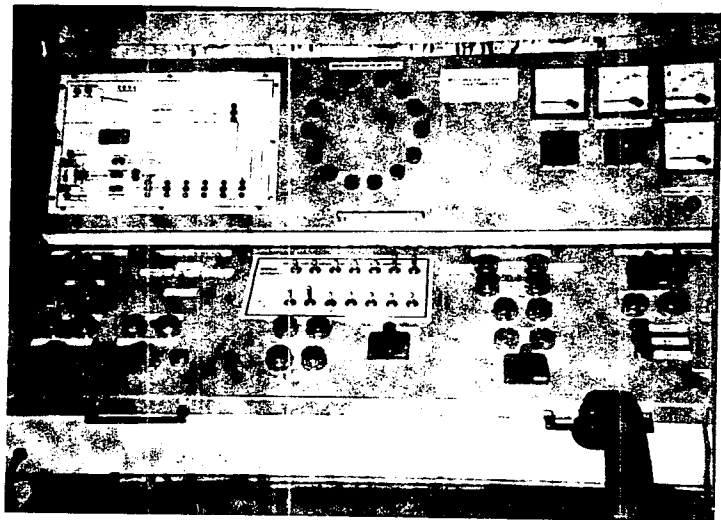
Botones para el arranque y paro de los motores eléctricos de las unidades hidráulicas de: empuje, del colocador y agitadores, del cortador, bombas del sistema de circulación de lodos, lubricación.

Interruptores para accionamiento de gatos de compuertas, botones pulsadores para operar las válvulas de la unidad de derivación.

Además, se puede mantener comunicación constante con el personal de la caseta de control en superficie.

- b) UNIDAD HIDRAULICA DE EMPUJE. Para la alimentación hidráulica de los gatos de empuje se cuenta con dos bombas, accionada cada una por un motor eléctrico de 15 HP. También se cuenta con un recipiente para fluido hidráulico.





*CABINA DE CONTROL*



*UNIDAD HIDRAULICA DE EMPUJE*

- c) **UNIDAD DE DERIVACION.** Se compone de tres válvulas neumáticas. Se ubica en las tuberías de suministro y descarga de lodos, y una conecta a ambas.

La válvula que une las tuberías de suministro descarga tiene como función hacer un circuito cerrado de recirculación de lodos, esto es para verificar que las tuberías no estén tapadas y estabilizar las condiciones para reiniciar la excavación.

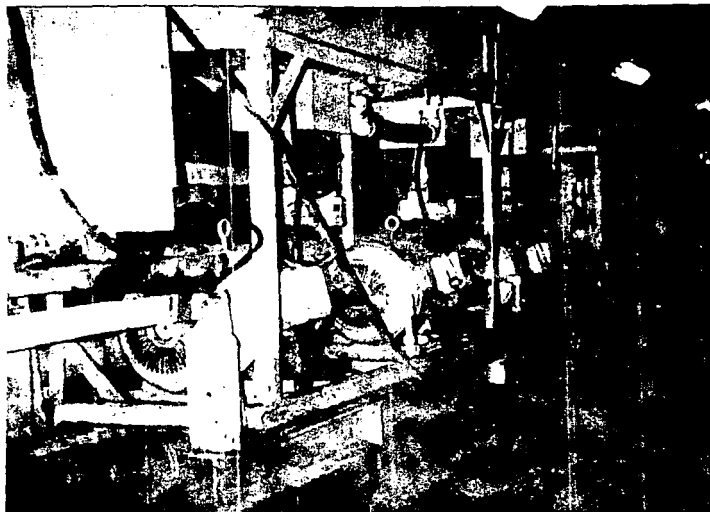
- d) **BOMBA DE DESCARGA.** Sus características y funciones fueron ya mencionadas. Se halla montada en el mismo truck que la unidad de derivación.
- e) **UNIDAD HIDRAULICA DEL CORTADOR.** Para la alimentación hidráulica de los motores del cortador se cuenta con tres bombas, cada una accionada por un motor eléctrico de 40 HP.
- f) **UNIDAD HIDRAULICA DEL COLOCADOR DE DOVELAS.** Para el accionamiento del colocador de dovelas se emplea una bomba accionada por un motor eléctrico de 10 HP.
- g) **UNIDAD HIDRAULICA DE LOS AGITADORES.** Para la alimentación hidráulica de los agitadores se emplean dos bombas accionadas cada una por un motor eléctrico de 20 HP.

El recipiente del fluido hidráulico es común para la bomba del colocador y la de los agitadores.

- h) **UNIDAD NEUMATICA.** Para el accionamiento de las válvulas neumáticas de la unidad de derivación y la bomba de engrase de la transmisión, se cuenta con un compresor de aire accionado por un motor eléctrico de 5 HP.



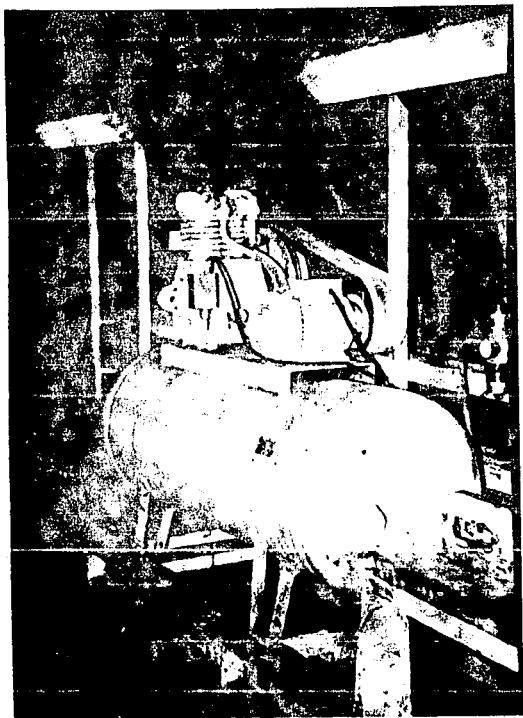
*UNIDAD DE DERIVACION (BYPASS)*



*UNIDAD HIDRAULICA DEL CORTADOR*



*UNIDAD HIDRAULICA DE LOS AGITADORES Y DEL COLOCADOR*



*UNIDA NEUMATICA*

- i) **TABLERO DE EQUIPO ELECTRICO.** Es un gabinete metálico, en su interior se alojan elementos como: interruptores, arrancadores, relevadores, etc., para operación y control de los equipos eléctricos del escudo. Se le suministra energía eléctrica transformada de 2300 V a 220 V para ser distribuida a los motores y otros equipos.
- j) **TABLERO DE CONTROL DE LA BOMBA DE DESCARGA.** En su interior se encuentran los elementos necesarios para su operación y control, así como el circuito electrónico variador de frecuencia.
- k) **TRANSFORMADOR ELECTRICO.** Consiste en un gabinete metálico, en cuyo interior se halla instalado lo siguiente: un juego de cuchillas tripolares desconectadoras protegidas con cartuchos fusibles para 2.4 KV, 160 A; un transformador de 500 KVA con relación 2300/220/127 V, 3%, 60 Hz, tipo seco; un interruptor general termomagnético, tripolar 1200-1400 A; medidores de voltaje y corriente.

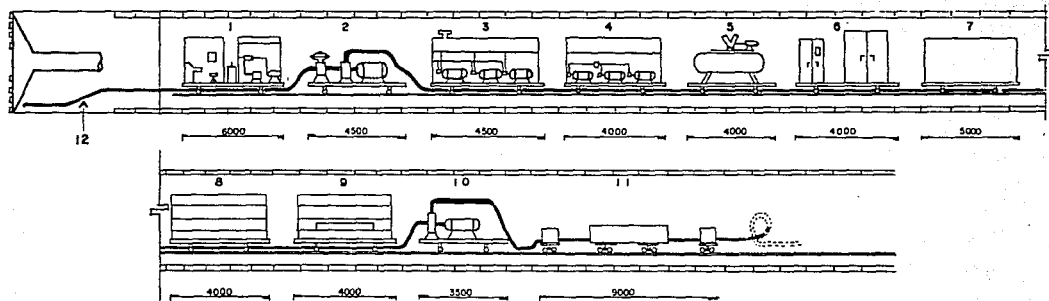
La energía proveniente de este transformador es para el tablero de equipo eléctrico.

- l) **TRUCKS PARA CONDUCTORES ELECTRICOS.** Se cuenta con dos trucks para transporte de conductores con el fin de prolongar las líneas de alimentación eléctrica conforme avanza la excavación.
- m) **BOMBA PARA ACHIQUE.** Para desalojar el lodo que se acumula en la cubeta del túnel, se cuenta con una bomba accionada por un motor eléctrico de 30 HP.
- n) **TUBERIA TELESCOPICA.** Descrita anteriormente.



o) POLIPASTO PARA EL MANEJO DE DOVELAS. Para transportar las dovelas desde los trucks hasta el colocador de dovelas se emplea un polipasto eléctrico, que se desliza sobre una vigueta. La potencia del motor es de 3.7 KW ± 5 HP.

TUNEL CANAL NACIONAL-CANAL CHALCO  
TREN DE ARRASTRE



- 1.- CABINA DEL OPERADOR Y UNIDAD HIDRAULICA DE LOS GATOS DE EMPUJE
- 2.- BOMBA DE DESCARGA Y UNIDAD DE DERIVACION
- 3.- UNIDAD HIDRAULICA DEL CORTADOR
- 4.- UNIDAD HIDRAULICA DE LOS AGITADORES Y COLOCADOR DE DOVELAS
- 5.- UNIDAD NEUMATICA O COMPRESOR DE AIRE

- 6.- TABLERO DE CONTROL DE EQUIPO ELECTRICO Y TABLERO DE CONTROL DE BOMBAS DE DESCARGA
- 7.- TRANSFORMADOR ELECTRICO
- 8.- TRUCK PARA TRANSPORTE DE CONDUCTORES ELECTRICOS
- 9.- TRUCK PARA TRANSPORTE DE CONDUCTORES ELECTRICOS
- 10.- BOMBAS DE ACHIQUE
- 11.- TUBERIA TELESCOPICA
- 12.- TUBERIAS DE SUMINISTRO Y DESCARGA DE Lodos

## II.2 FUNCIONAMIENTO DEL ESCUDO

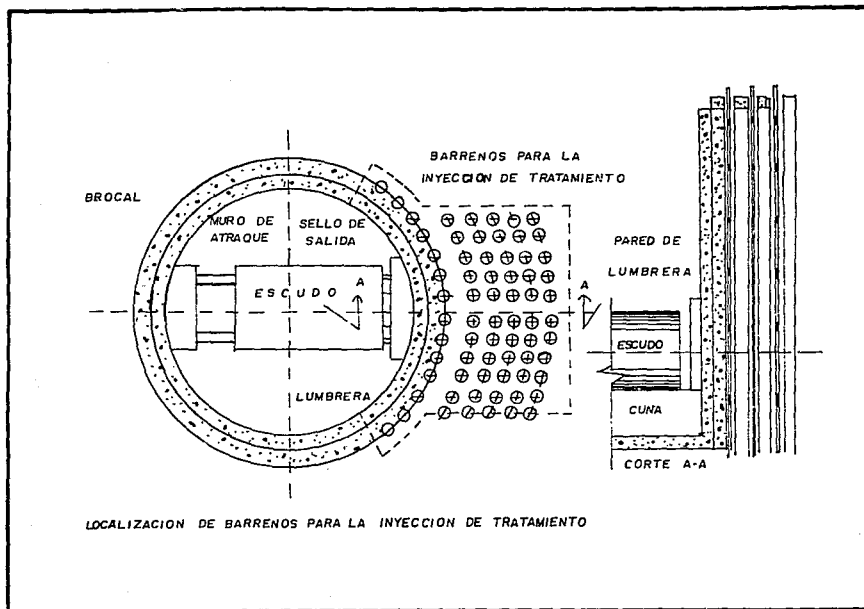
El escudo al que está referido este estudio pertenece a la CONSTRUCTORA ESTRELLA S.A de C.V. que tiene a su cargo la construcción del Colector Semiprofundo Canal Nacional-Canal de Chalco, este estudio se concentra en la construcción del tramo Lumbrera 3 (L3) a lumbrera 3A (L3A) de dicho colector en particular. Esta construcción se realiza a 17 m por debajo de la superficie.

Previamente a la excavación se debe contar con una lumbrera de 12 m de diámetro y una profundidad de más de 17 m, con el fin de poder introducir los materiales y el equipo excavador.

Al término de la construcción de la lumbrera y antes de iniciar la excavación, se debe realizar un tratamiento de inyección para estabilizar el suelo y así evitar problemas al momento de demoler la pared de la lumbrera.

Para realizar dicho tratamiento de inyección se emplea alta presión la cual provoca rompimiento y consolidación en la estructura del subsuelo, es así como después se puede depositar una mezcla de cemento-bentonita en las fracturas que provocó la presión.

Para el inicio de la excavación, primeramente el escudo se coloca en el fondo de la lumbrera sobre una cuna de recepción la cual tiene determinada posición para poder iniciar la excavación, a continuación se coloca un sello de salida consistente en un conjunto de anillos metálicos y de hule de varios diámetros con el fin de dar un elemento de contención que no permita la circulación de lodos del frente hacia la lumbrera.



LOCALIZACION DE BARRENOS PARA LA INYECCION DE TRATAMIENTO

En el inicio de la excavación se demuele con martillos neumáticos la pared de la lumbrera y se colocan las dovelas de atraque con las que se forma el primer apoyo del escudo. Así, al ser accionados los gatos sobre las dovelas de atraque éste comenzará a deslizarse sobre la cuna hasta hacer contacto la cabeza cortadora con el terreno previamente inyectado, después de esto, se procede a presurizar la cámara de mezclado con el lodo.

El suelo excavado pasa a la cámara de mezclado en donde es incorporado a la circulación del lodo estabilizador con la ayuda de los agitadores y las paletas situadas tras la cabeza cortadora, para después ser enviado a la superficie por medio de la bomba y tubería de descarga de lodo.

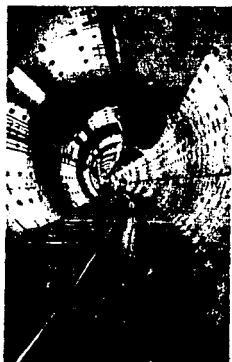
Cuando los gatos de empuje han llegado a su extensión total, el cortador se detiene y se cierran las compuertas para ya no admitir el paso de material a la cámara. La recirculación de lodos se mantiene hasta que la densidad del lodo de descarga sea igual a la de suministro.

Posterior a esto, comienza el trabajo del anillo erector ya que tiene que ser colocado un anillo de dovelas, retrayendo para esto los gatos de empuje a fin de hacer espacio y facilitar la operación de colocador. Al término de lo cual, se debe hacer una inyección de contacto para rellenar el espacio entre las dovelas y el terreno, evitando con ello las filtraciones y los asentamientos de la superficie.

Cuando se termina la colocación del anillo de dovelas, se hace una selección de gatos para emplearse en el siguiente empuje, esto se hace conociendo la línea y el nivel que guarda el escudo en dicho anillo, con respecto a los datos del proyecto.

Los primeros 50 m de la excavación del túnel son los más lentos, pues se tiene que ir introduciendo paulatinamente el tren de equipo que tiene exactamente dicha longitud; al término de lo cual se vuelve un proceso cíclico más rápido en el cual se tiene programado un avance teórico de 21 m como promedio diario, ya que se trabajan las 24 horas del día.

Hasta el término del túnel, es decir cuando ha llegado a la siguiente lumbrera, que en el caso de este estudio corresponde a una distancia un poco mayor a 2 Km, se efectúa un revestimiento definitivo de concreto reforzado, el cual protege al revestimiento primario de dovelas de la erosión hidráulica y de las sustancias suspendidas en las aguas negras que conducirá el túnel cuando esté terminado, así como también dar un funcionamiento hidráulico eficiente.



El Colector Semproundo (atapala) con el revestimiento primario a base de dovelas de concreto



El escudo de frente cerrado y todos presurizados con diámetro exterior de 6.24 m.

## II.3 SISTEMAS, EQUIPOS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

Complementando al escudo excavador se hallan algunos otros equipos en superficie y dentro del túnel que también son de importancia; a saber, el equipo más importante lo constituye el propio escudo ya que consume la mayor parte de la energía eléctrica que es suministrada a una obra de este tipo, además, en él se maneja la mayor tensión de alimentación como ya se mencionó anteriormente.

Algunos de estos equipos que se han mencionado, a continuación se explica su función por sistemas o áreas:

### II.3.1 SISTEMA DE LODOS

Es un conjunto de cárcamos cuya función es separar la mezcla de material excavado-lodo estabilizador. Todo el proceso consta de tres etapas: separación de gravas, cribado de arenas y separación de partículas finas en suspensión. Consta de:

#### a) CARCAMO DE DESECHO

En él se recibe el lodo proveniente del frente de excavación con ayuda de la bomba de descarga que se encuentra en el tren de arrastre, y subsecuentemente a cada 200 m una bomba de traspaleo (ambas de 20 HP) hasta llegar a este cárcamo. En él se inicia la sedimentación de grumos de arcilla que son acarreados.

#### b) CARCAMO DE SEDIMENTACION

En él se continúa el proceso de sedimentación para lo



cual anteriormente se pasa el lodo a través de una malla vibratoria. De aquí, los lodos más gruesos son descargados por medio de una bomba garza (20 HP) a pipas para su transporte.

#### c) CARCAMO DE AJUSTE

Una vez que se han sedimentado las arcillas es necesario reducir la densidad del lodo por medio de la adición de agua tratada.

#### f) CARCAMO DE AGUA TRATADA

En el se almacena el agua que es enviada de la planta de tratamiento, cuenta con una bomba de agua tratada (30 HP) que descarga al cárcamo de suministro.

#### e) CARCAMO DE SUMINISTRO

Cuando el lodo que se encuentra en el cárcamo de ajuste tiene una densidad necesaria, pasa al cárcamo de suministro para ser enviado al frente de excavación.

### II.3.2. LUMBRERA

Algunos de los equipos que se requieren en la lumbrera son:

#### a) GRUA PORTICO

Es una estructura de acero que abarca el diámetro de la lumbrera y se desliza sobre rieles a los lados de la misma con la ayuda de motores; su función es introducir al túnel las

dovelas y demás equipo que se requiera; forma una carga total de 40 HP alimentada a 440 V.

**b) AGITADOR DE MEZCLA DE CONCRETO**

Se localiza en la superficie junto a la lumbrera, tiene la función de efectuar la mezcla para la inyección de concreto que se lleva a cabo al terminar la colocación de cada anillo de dovelas, consta de un motor de 30 HP.

**c) COMPRESOR ESTACIONARIO**

Este equipo se encuentra dentro de la subestación eléctrica pero lo más cercano posible a la lumbrera, su función es la de alimentar a los taladros neumáticos que se requieren para demoler la pared de la lumbrera. Representa una carga de 150 HP.

**d) ELEVADOR**

Es del tipo exterior instalado en el interior de la lumbrera, su función es transportar al personal desde la superficie hasta el fondo de la lumbrera donde se encuentra el túnel y visceversa; representa una carga de 20 HP.

**e) VENTILADORES**

Son los encargados de mantener ventilado el frente de excavación donde labora el personal técnico, de colocación de anillos y de suministro de inyección de concreto. Dichos ventiladores mejoran la calidad del aire en el frente, debido a la profundidad y humedad existentes. Para dicho propósito se cuenta con cuatro motores de 20 HP, teniendo como ducto lona de 60 cm de diámetro.

#### f) BOMBA DE AGUA

Se localiza en el fondo de la lumbrera y tiene la finalidad de suministrar agua al frente de excavación para labores en la inyección y también en la limpieza del túnel; el motor que acciona la bomba es de una capacidad de 25 HP.

#### g) BOMBA MOYNO

Es un truck el cual tiene la finalidad de contener y transportar la inyección de concreto al frente de excavación; en el fondo de la lumbrera existe un receptáculo para conexión del interruptor de la bomba y en el tren de arrastre se haya otro para facilitar la maniobra de suministro de energía. Dicha bomba tiene un motor de 20 HP.

#### h) ALUMBRADO

Otra carga de importancia la constituye el alumbrado tanto de la lumbrera como de toda la longitud el túnel; éste se alimenta a una tensión de 220 V por medio de una línea trifásica a todo lo largo del túnel.

#### i) MEDIDORES DE FLUJO DE LODO

Otro equipo importante lo constituyen los medidores de flujo de lodo o "totalizadores" tanto de suministro como de descarga, conectados a las tuberías en el fondo de la lumbrera. Este equipo no tiene un consumo de energía eléctrica de importancia, dicha importancia radica en que las máquinas que registran las lecturas son electrónicas y el cable de control debe ser cuidadosamente manejado.

## J) INTERCOMUNICACION

Este equipo no consume gran cantidad de energía eléctrica, pero el cableado debe procurarse toda la longitud del túnel y llegar hasta la cabina de control en el frente de excavación, pasando por todos y cada uno de los gabinetes de control de las bombas de traspaleo, donde existe un jack para conexión de una diadema micrófono-audifono para comunicación en cualquier punto del túnel con el frente o la cabina de control en superficie. Consta también de un cableado para timbre de llamado al operador del escudo.

Algunos otros equipos requieren de tomas de corriente en diversos puntos de la obra, pues así lo requieren las necesidades, algunos de estos equipos son: soldadoras eléctricas de 20 HP, bombas tipo sumergible en capacidades de 15, 10 y 5 HP; todo lo anterior en cuanto a equipo que trabaja en corriente alterna trifásica se refiere.

### II.3.3. OFICINAS Y TALLERES

Otra carga la constituyen las instalaciones de las oficinas y talleres que se encuentran en la obra, a saber existen: almacén, departamento de topografía, laboratorio, talleres mecánico y eléctrico, carpintería, oficinas de superintendencia y supervisión.

### III. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA OBRA

## CONTENIDO

### III.1 DESCRIPCION DE LA SUBESTACION ELECTRICA

#### III.1.1 CLASIFICACION

#### III.1.2. NOMENCLATURA Y SIMBOLOGIA

#### III.1.3. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE UNA SUBESTACION

##### III.1.3.1. TRANSFORMADORES DE POTENCIA

##### III.1.3.2. INTERRUPTORES

##### III.1.3.3. CUCHILLAS

##### III.1.3.4. FUSIBLES

### III.2. CALCULO DEL ALUMBRADO PARA EL TUNEL

#### III.3. MEMORIA DE CALCULO PARA EQUIPO DE LA OBRA

##### III.3.1. CARCAMOS Y VENTILADORES

##### III.3.2. LUMBRERA, SUPERFICIE, TUNEL Y COMPRESOR

##### III.3.3. ESCUDO, TRASPALO, ALUMBRADO Y VENTILACION

### III.1 DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Una Subestación Eléctrica es un conjunto de dispositivos eléctricos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia cuyas funciones principales son las de transformar tensiones y derivar circuitos de potencia.

#### III.1.1 CLASIFICACIÓN

Existen algunos tipos de subestaciones de acuerdo con la función que desempeñan:

- a) Subestaciones variadoras de tensión
- b) Subestaciones de maniobra
- c) Subestaciones mixtas (mezcla de las anteriores)

También se pueden agrupar de acuerdo con la potencia que manejan en:

- a) Subestaciones de transmisión. Por arriba de 230 KV.
- b) Subestaciones de subtransmisión. Comprendidas entre 230 y 115 KV.
- c) Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 y 23 KV.
- d) Subestaciones de distribución secundaria. Abajo de 23 KV.

Por el tipo de instalación también podemos clasificar a las subestaciones en:

- a) Subestaciones tipo intemperie. Se construyen en terrenos expuestos a la intemperie requiriendo para ello de un

diseño, aparatos y máquinas capaces de soportar un funcionamiento bajo condiciones atmosféricas adversas, como es el caso de las obras de que se ocupa este estudio.

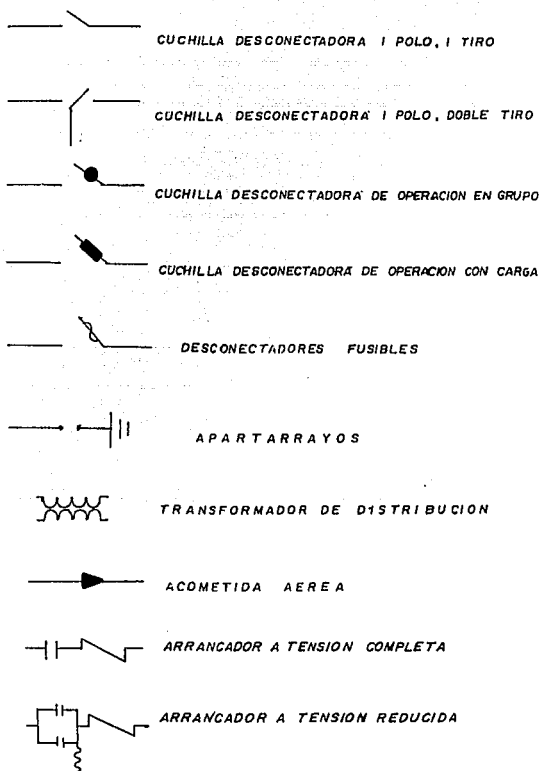
- b) Subestaciones tipo interior. Diseñadas para operar en interiores, como es el caso de las industrias.
- c) Subestaciones tipo blindado. En las cuales los equipos se hallan bastante protegidos ya que se encuentran en un espacio reducido. Son empleadas en tensiones de utilización.

### III.12. NOMENCLATURA Y SIMBOLOGIA

Existe un gran número de símbolos empleados en la representación de una subestación eléctrica; a continuación se listan los empleados para las subestaciones de que nos ocuparemos solamente.



## SIMBOLOGIA AMERICANA



SIMBOLOGIA EUROPEA



INTERRUPTOR



INTERRUPTOR SIN CARGA, DESCONECTADOR



INTERRUPTOR DE CARGA



INTERRUPTOR DE POTENCIA



FUSIBLE GENERAL



ACOMETIDA



TRANSFORMADOR



TIERRA



SWITCH DESCONECTADOR



MOTOR TRIFASICO

### III.1.3. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE UNA SUBESTACION

En este inciso se describirá a grandes rasgos las características más importantes del equipo instalado en las subestaciones que ocupan las obras a que este estudio se refiere.

III.1.3.1. TRANSFORMADORES DE POTENCIA. Un transformador es una máquina electromagnética, cuya función es cambiar la magnitud de la tensión eléctrica.

Podemos considerar a un transformador formado por tres partes:

- a) Parte activa
- b) Parte pasiva
- c) Accesorios

- a) Parte activa. Formada por los elementos separados del tanque principal y que son: núcleo, bobinas, cambiador de derivaciones y bastidor.
- b) Parte pasiva. Consiste en el tanque que contiene la parte activa y los líquidos. Dicho tanque debe ser hermético, soportar el vacío sin llegar a deformarse; además de ofrecer ciertos puntos de apoyo para su transporte.
- c) Accesorios. Es un conjunto de partes y dispositivos que sirven de apoyo en la operación y mantenimiento del transformador. Algunos de ellos son: tanque conservador, boquillas, tablero, válvulas, conectores de tierra y placa de características.

### III.13. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE UNA SUBESTACION

En este inciso se describirá a grandes rasgos las características más importantes del equipo instalado en las subestaciones que ocupan las obras a que este estudio se refiere.

III.1.3.1. TRANSFORMADORES DE POTENCIA. Un transformador es una máquina electromagnética, cuya función es cambiar la magnitud de la tensión eléctrica.

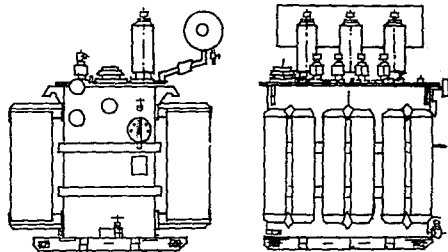
Podemos considerar a un transformador formado por tres partes:

- a) Parte activa
- b) Parte pasiva
- c) Accesorios

a) Parte activa. Formada por los elementos separados del tanque principal y que son: núcleo, bobinas, cambiador de derivaciones y bastidor.

b) Parte pasiva. Consiste en el tanque que contiene la parte activa y los líquidos. Dicho tanque debe ser hermético, soportar el vacío sin llegar a deformarse; además de ofrecer ciertos puntos de apoyo para su transporte.

c) Accesorios. Es un conjunto de partes y dispositivos que sirven de apoyo en la operación y mantenimiento del transformador. Algunos de ellos son: tanque conservador, boquillas, tablero, válvulas, conectores de tierra y placa de características.



TRANSFORMADOR DE POTENCIA

**III.1.3.2. INTERRUPTORES.** Son dispositivos destinados al cierre y apertura de un circuito eléctrico bajo carga, tanto en condiciones normales como de cortocircuito.

Sirve tanto para insertar como para retirar de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

**III.1.3.3. CUCHILLAS.** Son dispositivos que sirven para conectar y desconectar diferentes partes de una instalación eléctrica para llevar a cabo maniobras o bien dar mantenimiento.

Estas pueden abrir circuitos bajo tensión pero nunca cuando fluye corriente a través de ellas. Es decir, antes de abrir un juego de cuchillas se tiene que abrir el interruptor correspondiente.

Las cuchillas están formadas por una base metálica de lámina galvanizada con un conector de puesta a tierra; de dos a tres columnas de aisladores, y encima la cuchilla. La cuchilla se encuentra formada por una navaja que es móvil, y una mordaza que recibe y aprisiona la navaja.

El tipo de cuchillas que se tienen en las subestaciones de nuestro estudio son del tipo vertical.

**III.1.3.4. FUSIBLES.** Son elementos de protección eléctrica, hacen las veces de interruptor con la ventaja de que su costo es más reducido. Se utilizan en las partes de una instalación eléctrica en donde no es justificable económicamente el uso de los relevadores e interruptores, como es nuestro caso.

La función de estos, es la de interrumpir circuitos eléctricos cuando en ellos se produce una sobrecorriente; así como soportar la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

Como dentro de esta excavación básicamente se trabaja con este tipo de dispositivos se hace necesario hablar más acerca de ellos.

Así, en una instalación de alta tensión un juego de fusibles se encuentra formado por tres polos. Cada uno de ellos, tiene una base metálica parecida a la empleada en las cuchillas; dos columnas de aisladores ya sean de porcelana o de resina sintética. Sobre los aisladores existen dos mordazas en las cuales entra a presión el cartucho del fusible.

Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible que puede ser de alambre o tira metálica con área reducida que obviamente ha sido calibrada de acuerdo a su capacidad de corriente. En dicha tira o alambre se produce una densidad de corriente que al pasar un valor determinado y durante cierto tiempo se produce la fusión del elemento y el circuito queda abierto.

Para la elaboración de elementos fusibles se emplea como material una aleación a base de plomo en el caso de bajas tensiones y corrientes, y una aleación de cobre o aluminio para corrientes mayores.

De acuerdo con la capacidad de ruptura, el lugar de instalación y el costo, existen tres tipos diferentes de fusibles:

1. Expulsión
2. Limitador de corriente
3. Vacío

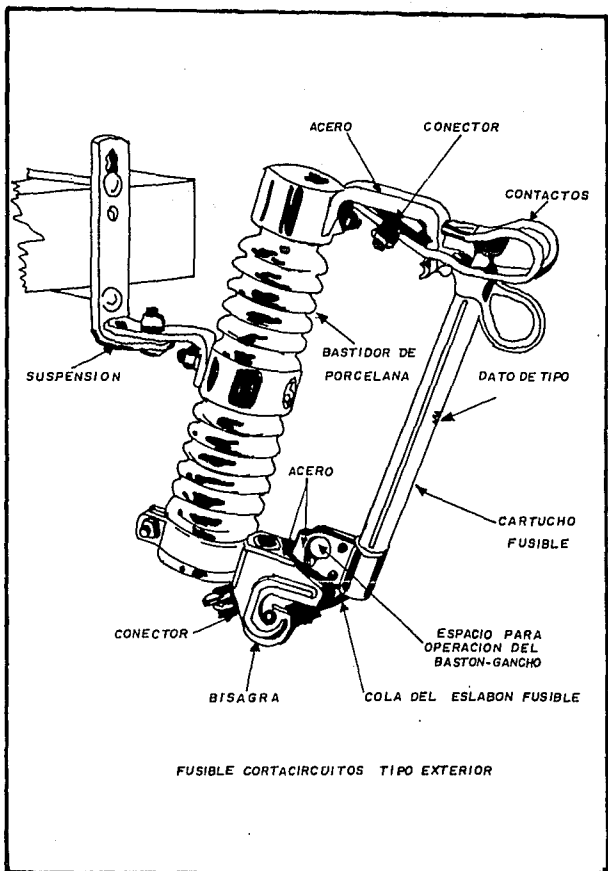
1. *Expulsión.* El eslabón fusible consta de un elemento fusible con una cápsula en un extremo y un cable trenzado en el otro. El fusible entra dentro de un tubo aislado, usualmente de fibra, la cápsula es sostenida en un extremo y ajusta y hace contacto en el otro extremo.

El cable flexible está tensado por un resorte. El ensamble es introducido entre las terminales estacionarias del cortacircuitos.

El tiempo mínimo requerido para fundir el eslabón está determinado por la composición y dimensiones del mismo. En los voltajes primarios suministrados, no obstante un arco persistirá entre las terminales de un eslabón fundido. El montaje del fusible determinará la duración para extinguir el arco. El tiempo total del fusible será la suma de esos dos tiempos, el tiempo de fundición y el tiempo de extinción del arco. Los fusibles están clasificados sobre su clase de voltaje, su normal capacidad de conducción de corriente y una relación corriente-tiempo expresada como rápida o lenta.

La magnitud del exceso de corriente variará inversamente con su duración. Esta característica corriente-tiempo no está determinada solo por el tipo de metal usado y sus dimensiones, sino también en el tipo de encapsulado.





2. *Limulador de corriente.* Este tipo de fusible es de doble acción, por una parte reduce la corriente de falla debido a que introduce una resistencia elevada y por otra, al incrementarse la resistencia pasa de un bajo factor de potencia a un alto factor de potencia.

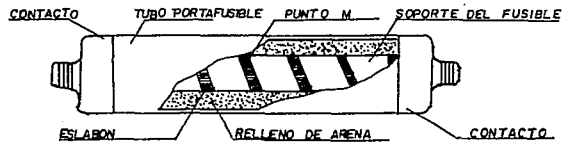
El elemento fusible se encuentra dentro de arena de sílice el cual centra el arco, eleva la presión a lo largo del elemento fusible produciendo un momentáneo aumento de la resistencia que limita la corriente de cortocircuito, con lo cual se limita el tiempo de interrupción, quedando dentro del primer semiciclo de la onda de corriente.

El elemento fusible está formado de uno o varios elementos de plata en forma de alambre o cinta perforada. Dicho material se halla enrollado helicoidalmente sobre un cilindro de porcelana que soporta altas temperaturas. El espacio entre el soporte y el tubo se halla relleno de arena de sílice.

Al calentarse el elemento de plata comienza a fundirse en diferentes puntos, produciendo varios arcos eléctricos en serie que, complementándose con la alta resistencia, se termina por eliminar la corriente.

El incremento de resistencia provoca un arco que trae consigo una diferencia de potencial muy grande en los extremos del fusible.

Este tipo de fusibles no expulsan gases, su diseño se limita a que los picos de las sobretensiones no excedan 2.5 veces el valor nominal.



CORTE DE UN FUSBLE LIMITADOR DE CORRIENTE

Debido a que en esta obra sólo se emplean los dos tipos de fusibles descritos anteriormente, con lo anteriormente descrito bastará para la comprensión de las partes que componen nuestra subestación.

De acuerdo a la anterior clasificación podemos situar a la subestación que manejaremos dentro del tipo variadora de tensión, de distribución secundaria y dentro del tipo intemperie.

La subestación con la que cuenta esta obra tiene una capacidad de 1400 KVA, capacidad que debe ser calculada con anterioridad para solicitar a una compañía se suministre e instale el equipo necesario para que así la Compañía de Luz y Fuerza nos proporcione la correspondiente acometida de 23,000 V, 60 Hz, 3 fases.

A continuación se proporciona una lista del equipo anteriormente mencionado, así como un plano para su localización en donde se puede observar la disposición que guardan dentro de la subestación.

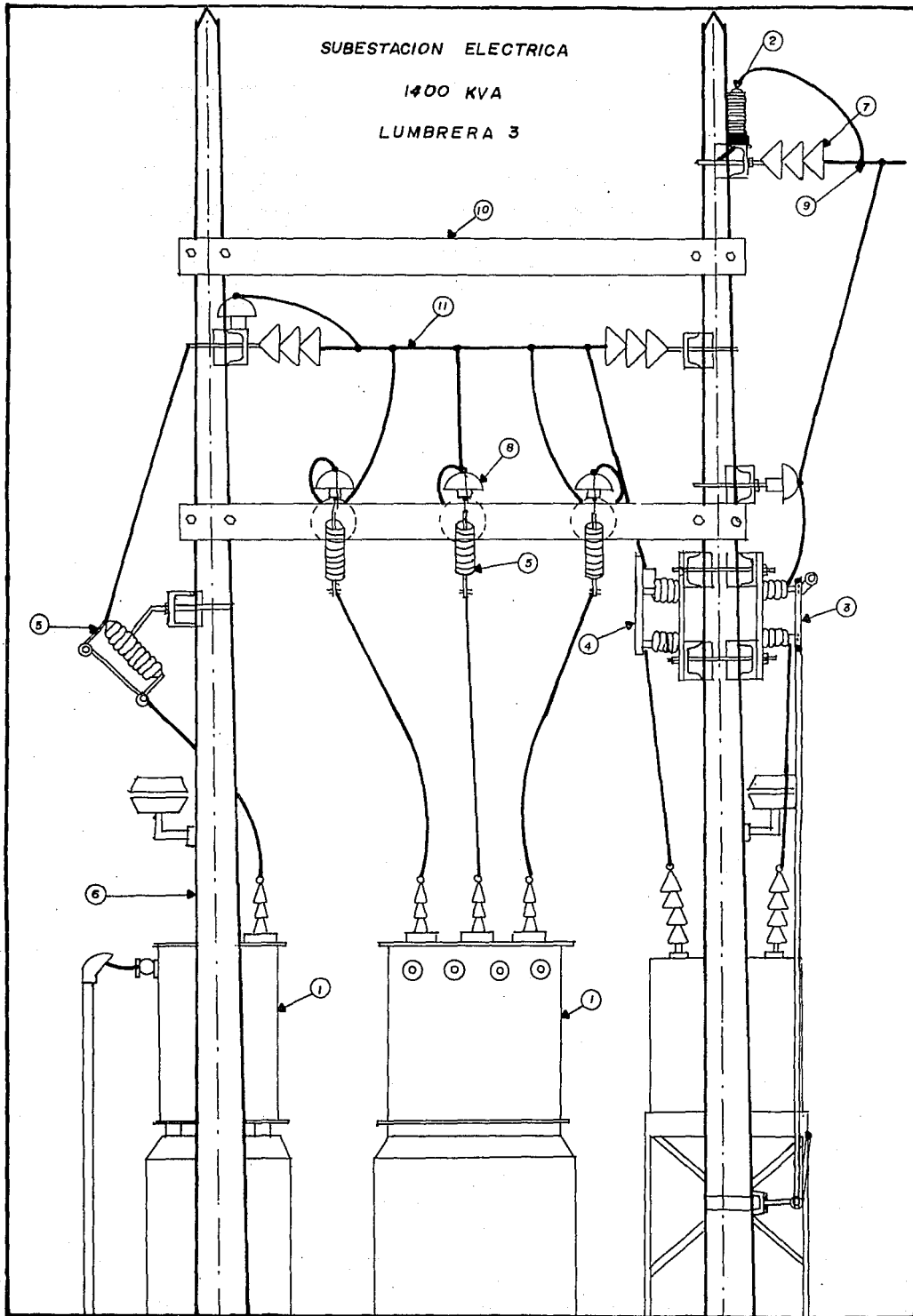
- (1) 2 Transformadores trifásicos 300 KVA, 23,000/440 V.
  - 1 Transformador trifásico 300 KVA, 23,000/220 V.
  - 1 Transformador trifásico 500 KVA, 23,000/2,300 V.
  - 1 Transformador trifásico 50 KVA, 440/220 V.
  - 1 Transformador trifásico 15 KVA, 440/220 V.
- (2) 3 Apartarrayos autovalvular para 23 KV.
- (3) 1 Cuchilla desconectadora tripolar tipo alduti para 23 KV, 500 A.
- (4) 3 Cortacircuitos fusibles de potencia 23 KV, 300 A, 750 MVA.

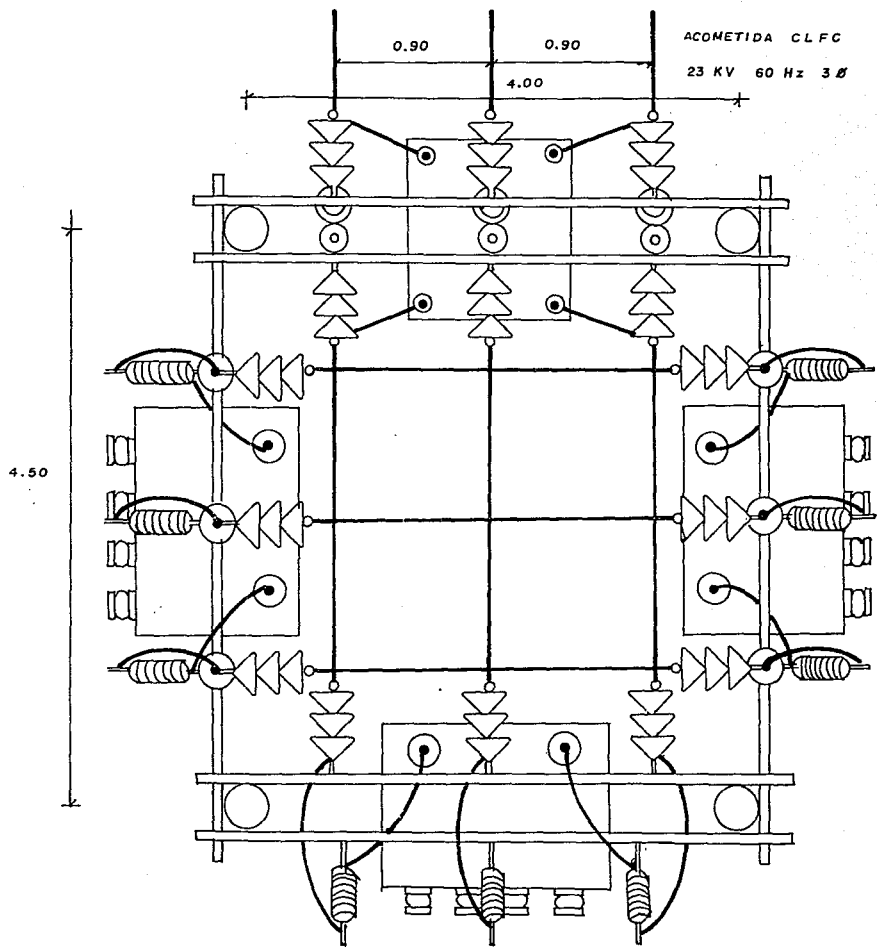
- (6) 18 Cortacircuitos fusibles tipo XS, 100 A, 1 polo, 1 tiro.
- (8) 4 Postes de concreto reforzado 10.67 m.
- (7) 18 Aisladores tipo suspensión de vidrio templado 23 KV.  
45 Aisladores tipo suspensión de porcelana.
- (8) 15 Aisladores de paso tipo alfiler de porcelana flameo en seco 110 KV, y húmedo 70 KV.  
15 Tornillos de ojo.  
15 Ganchos y bola.  
15 Calaveras y ojos. (9) 15 Clemas de tensión.  
18 Pernos doble rosca con tuerca y arandela de presión.  
8 Dados de fierro fundido 19 mm. dia.  
9 Dados de fierro fundido 21.5 mm. dia.  
10 Dados de fierro fundido 27 mm. dia.  
15 Abrazaderas de fierro redondo.
- (10) 13 Crucetas de fierro canal galvanizado.  
Cable de cobre desnudo semiduro cal. 4/0 AWG para tierras.
- (11) Cable de cobre desnudo semiduro cal. 2/0 AWG para buses.  
4 Puntas de pararrayos  
Varilla copperweld para sistema de tierras.

SUBESTACION ELECTRICA

1400 KVA

LUMBRERA 3





SUBESTACION ELECTRICA

### III.2 CALCULO DEL ALUMBRADO PARA EL TUNEL

Para efectuar este cálculo debemos hacer ciertas consideraciones antes; a saber el túnel como ya se ha dicho tiene un diámetro de 2.5 m., lo cual hace que para efectuar el cálculo tengamos que considerarlo como una construcción cuadrada ya que las literaturas consultadas no contemplan proyectos de alumbrado de este tipo; ahora bien, sabemos también que no tenemos una obra completamente terminada, y que las luminarias se irán instalando conforme vaya avanzando la excavación, por lo cual para el cálculo deberemos considerar la longitud total del túnel.

Otra consideración importante que se tiene que tomar en cuenta, es el hecho de elegir el tipo de luminaria más adecuado ya que nuestra obra no es definitiva, es decir al término de la excavación tendrá que ser retirado todo equipo, también sabemos que se tiene un alto índice de ensuciamiento, por tanto las luminarias deberán ser prácticas en cuanto a su instalación y manejo, previendo también que volverán a ser instaladas en otro tramo del túnel proyectado.

Con estas consideraciones y basándonos en los siguientes datos:

Túnel de 2.5 m. de diámetro .

Altura 2.5 m

Ancho 2.5 m

Largo 2,000 m

Tipo de iluminación elegida: directa, pues con este tipo casi todo el flujo luminoso se dirige directamente a la superficie que se ha de iluminar. Aunque en la práctica es imposible conseguir una iluminación



directa, pues siempre existe alguna luz reflejada en las paredes. Aún más, la iluminación directa produce sombras y existe el riesgo de deslumbramiento al situarse dentro del campo visual, para evitar esto existen comercialmente aparatos de alumbrado con viseras verticales. En el túnel en cuestión no tenemos más alternativa que optar por este tipo, ya que contamos con un espacio reducido, es decir, en la parte central superior del túnel llevamos el ducto de ventilación, en el lado izquierdo llevamos las líneas de alimentación de 2,300 V del escudo y 220 V del propio alumbrado. Así, se precisa su instalación en el lado opuesto.

Tipo de trabajo a desarrollar: soldadura, instalación de aparatos eléctricos y de medición.

Nivel de iluminación recomendado: 300 (\*lux

Para el cálculo de este proyecto se empleo el método de iluminación para interiores con las consideraciones antes mencionadas; así pues se hace necesario definir algunos conceptos:

- H Altura del local
- A Ancho del local
- L Longitud del local
- E Nivel de iluminación recomendado
- S Superficie del local
- h Altura desde el techo al plano útil de trabajo
- h' Altura del suelo al plano útil de trabajo

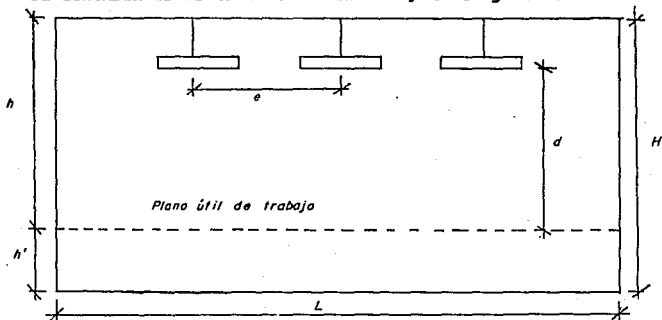
1

<sup>1</sup>\*LUX: Un lux es la iluminación en un punto A sobre una superficie que dista en dirección perpendicular 1 m de una fuente puntual uniforme de una (\*)candela.

\*CANDELA: Es la cantidad física básica en todas las medidas de luz.

- e Distancia entre focos contiguos
- d Distancia vertical de los focos al plano de trabajo
- e' Distancia horizontal desde los aparatos extremos de una fila al muro perpendicular a esta fila
- n Número mínimo de aparatos de alumbrado según la longitud
- n' Número mínimo de aparatos de alumbrado según el ancho
- N<sub>min</sub> Numero total de aparatos
- k Índice del local
- $\rho_t$  Factor de reflexión del techo
- $\rho_p$  Factor de reflexión de las paredes
- u Factor de utilización
- $\delta$  Factor de depreciación
- $\phi_0'$  Flujo luminoso teóricó
- $\eta_A$  Rendimiento
- $\phi_0$  Flujo luminoso necesario

Como plano útil de trabajo en locales cerrados suele tomarse la superficie horizontal localizada a unos 80 cm del piso. En nuestro caso no puede ser aplicada tal convención, pues aún a nivel del piso se llevan a cabo actividades como es la conexión de tubería de suministro y descarga de lodos.



Llevando a cabo los cálculos correspondientes:

La superficie total a iluminar será:

$$S = L \times A$$

$$S = (2000)(2.5) = 5000 \text{ m}^2$$

La altura del techo al plano de trabajo

$$h = H - h'$$

Como se dijo anteriormente  $h' = 0 \text{ m}$

$$h = H = 2.5 \text{ m}$$

Como la utilización de los aparatos está en función de la altura del local, la norma a seguir es la siguiente:

Aparatos extensivos: locales con alturas hasta 4 m

Aparatos semiextensivos: locales con alturas entre 4 y 6 m

Aparatos semintensivos: locales con alturas entre 6 y 10 m

Aparatos intensivos: locales con alturas superiores a 10 m

La uniformidad de iluminación es función de la relación:

$$e/d$$

Es decir, la forma en que se cortan los haces luminosos.

Así, para nuestro local se recomienda un valor:

$$\frac{e}{d} \leq 1.6 \text{ si hacemos}$$

$$e = 1.6 d$$

$$e = 1.6 \times 2.5 = 4 \text{ m entre centros}$$

Por tanto

$$e' = \frac{e}{2} \text{ pues en general se adopta este valor}$$

$$e' = \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$$

Según la longitud del local

$$n = \frac{(L + e) - 2e'}{e}$$

$$n = \frac{(2000 + 4) - (2 \times 2)}{4} = 500 \text{ aparatos}$$

Según el ancho

$$n' = \frac{A}{1.6d}$$

$$n' = \frac{2.5}{1.6 \times 2.5} = 0.67 \approx 1 \text{ aparato}$$

El total de aparatos será:

$$N_{\text{mín}} = n \times n'$$

$$N_{\text{mín}} = 500 \times 1 = 500 \text{ Aparatos}$$

$$k = \frac{2L + 8A}{10H}$$

$$k = \frac{(2000 \times 2) + (8 \times 2.5)}{10 \times 2.5} = 160.8$$

Según el procedimiento cuando  $k > 10$  debemos tomar  $k = 10$

Como en el interior del túnel tenemos que las dovelas que forman cada anillo están fabricadas de concreto, por su color tendremos unos valores de reflectancia:

$$\rho_1 = 0.3$$

$$\rho_p = 0.3$$

Con dichos valores recurrimos a la siguiente tabla de luminarias y obtenemos:

$$u = 0.72$$

$$\delta = 1.85$$

$$\eta_A = 82\%$$

Ahora, calculando el flujo luminoso teórico

$$\phi_o' = \frac{E \times S \times \delta}{u}$$

$$\phi_o' = \frac{(3000 \times 5000 \times 1.85)}{0.72} = 3'854,166.7 \text{ lúmenes}$$

Tomando en cuenta la eficiencia de las luminarias, tendremos un flujo luminoso necesario de:

$$\phi_o = \frac{\phi_o'}{\eta_A}$$

$$\phi_0 = \frac{3'854,166.7}{0.82} = 4'700,203.26 \text{ lúmenes}$$

Número que si se divide entre el número total de aparatos, tendremos:

$$\frac{4'700,203.26}{500} = 9,400 \frac{\text{lúmenes}}{\text{aparato}}$$

Como tenemos 2 lámparas por aparato

$$\frac{9400}{2} = 4700 \text{ lúmenes por lámpara}$$

Si consultamos tablas de fabricantes, encontramos que podemos satisfacer esta demanda de iluminación con lámparas fluorescentes de 65 watts cada una; mismas que proporcionan 4,700 lúmenes iniciales.

### III.3 MEMORIA DE CALCULO PARA EQUIPO DE LA OBRA

En este inciso se lleva a cabo el cálculo de conductores para circuitos derivados y alimentadores, así como también las protecciones correspondientes para cada equipo. Así mismo, se pretende hacer la elección de la protección más adecuada según el funcionamiento del equipo.

A continuación se procede a calcular el calibre de los conductores de los alimentadores, sus interruptores y en seguida lo propio para los circuitos derivados.

Cabe aclarar que el cálculo de conductores se hace en base a normas que establece el "Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas", por ello a continuación se transcriben algunos de los artículos de determinadas secciones para justificar algunas de las formulas empleadas en el cálculo.

#### Sección B. Conductores del circuito derivado

Art. 403.14 Conductores que alimentan un solo motor.

" Los conductores de un circuito derivado que alimenten un solo motor deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que el 125 % de la corriente a plena carga del motor"

Art. 403.16 Conductores que alimentan a varios motores

"Como mínimo los conductores que alimentan a 2 o más motores deben tener una capacidad igual a la suma del valor nominal de la corriente a plena carga de todos los motores; más el 25 % de la corriente del motor más grande del grupo"

"Cuando uno o más motores del grupo sean de la misma capacidad se tomará una sola vez el motor mayor"

#### Subsección H

##### Capacidad de conducción de corriente

" El medio de desconexión debe tener una capacidad para conducir continuamente por lo menos 115 % de la corriente a plena carga del motor"

#### Subsección G

##### Art. 403.58 Capacidad

" Los controladores de motores contruidos especialmente para tal fin (arrancadores) deben tener una capacidad en KW o en HP no menor que la potencia nominal del motor que controla"

El cálculo se hará por secciones comenzando por:

### III.3.1. CARCAMOS Y VENTILADORES

En el circuito derivado de los cárcamos se tiene:

- 2 Bombas de lodos (Garzas), motores 20 HP
- 1 Bomba dosificadora de agua tratada, motor 30 HP
- 1 Reserva de 20 HP

Señalándose que el tipo de motores que se emplean en este tipo de obras debido a las condiciones prevalecientes es de inducción totalmente cerrado.

Así, consultando las tablas para motores obtenemos la corriente a plena carga trabajando a una tensión de 440 V:



Para motores de 20 HP, I = 28 Amp

Para motores de 30 HP, I = 42 Amp

El conductor que conducirá esta corriente se calcula como:

$$I_{tot} = 1.25I_{mpc} + I_{mcr} \quad \text{donde:}$$

$I_{mpc}$  = Corriente a plena carga del motor mayor

$I_{mcr}$  = Suma de las corrientes a plena carga del resto de los motores

$$I_{tot} = (1.25 \times 42) + (3 \times 28) = 136.5 \text{ Amp}$$

De acuerdo a tablas el conductor que puede conducir esta cantidad de corriente es:

Calibre # 2 AWG al aire libre tipo poliphel XLP

El dispositivo de protección contra corto-circuito para este subalimentador se calcula:

$$I_{disp} = 1.5 I_{pc} \text{ motor mayor} + \sum I_{pc} \text{ otros motores}$$

Si consideramos la protección con fusibles con retraso de tiempo y motores con letra de código A:

$$I_{dia} = (1.5 \times 42) + (3 \times 28) = 147 \text{ Amp}$$

Debido a que sólo existen comercialmente fusibles de 150 Amp se opta por él.

Los calibres para cada motor en forma individual serán:

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

$$I = 1.25 I_n$$

Para los motores de 20 HP , de manera análoga:

$$I = (1.25 \times 28) = 35 \text{ Amp}$$

De tablas el conductor será:

Calibre # 10 AWG tipo THWN uso rudo

Si elegimos fusible con retraso de tiempo:

$$I_{fus} = (1.5 \times 28) = 42 \text{ Amp}$$

Elegimos un valor comercial de 45 Amp.

El arrancador requerido es tamaño NEMA 2.

Para el motor de 30 HP:

$$I = (1.25 \times 42) = 52.5 \text{ Amp}$$

Elegimos conductor calibre # 8 AWG

El fusible deberá ser de 70 Amp

Arrancador tamaño NEMA 3

Como existe una distancia de 80 m del interruptor general del transformador al interruptor general de los cárcamos, debe hacerse un cálculo para la caída de tensión.

1

<sup>1</sup>CAIDA DE VOLTAJE: El voltaje en las terminales de la carga es por lo general menor que el voltaje de alimentación, la diferencia de voltaje entre estos dos puntos se conoce como "la caída de voltaje". Las normas técnicas para instalaciones eléctricas recomiendan que la máxima caída de voltaje (desde la alimentación hasta la carga) no exceda el 5%.

Para un sistema trifásico tres hilos tenemos:

$$E\% = \frac{2 \sqrt{3} L I}{s V_f}$$

E % Caída de tensión en por ciento

L Longitud del conductor

I Corriente que circula por el conductor

A Area del conductor

Vf Voltaje entre fases

$$E\% = \frac{(2 \times \sqrt{3} \times 80 \times 126)}{(33.6 \times 440)} = 2.36\%$$

Caída que no es considerable y por lo cual no es necesario cambiar el calibre del conductor.

El circuito de los ventiladores consta de:

5 motores de 20 HP tipo inducción trabajando a 440 V  
1 motor de 25 HP de iguales características

$$I_{tot} = (1.25 \times 36) + (5 \times 28) = 165 \text{ Amp}$$

Conductor calibre # 1/0 AWG tipo poliphel XLP

Fusible de capacidad:

$$I_{fus} = (1.5 \times 36) + (5 \times 28) = 194 \text{ Amp}$$

Comercialmente  $I_{fus} = 200 \text{ Amp}$

Para cada motor individualmente

Para el motor de 25 HP:

$$I = (1.25 \times 36) = 45 \text{ Amp}$$

Conductor calibre # 8 AWG

Fusible de 60 Amp

Arrancador tamaño NEMA 2

Para los motores de 20 HP:

$$I = 1.25 \times 28 = 35 \text{ Amp}$$

Conductor calibre # 10AWG

Fusible de 45 Amp

Arrancador tamaño NEMA 2

El conductor para este alimentador lo calcularemos como:

Por un lado tenemos una demanda de 125 Amp nominales y por otro 175 Amp; siguiendo un razonamiento parecido al del cálculo para cada subalimentador tendremos:

$$I_{\text{cond}} = (1.25 \times 175) + 125 = 344 \text{ Amp}$$

Conductor calibre # 4/0 AWG

Si eligieramos un interruptor su fusible deberá ser de:

$$I = (1.5 \times 175) + 125 = 390 \text{ Amp}$$

Comercialmente encontramos fusibles de 400 Amp

En el primario del transformador:

$$I_n = \frac{300}{\sqrt{3} \times 23} = 7.53 \text{ Amp}$$

Dando un rango de protección para el fusible del 125%.

$$I_{fus} = 1.25 \times 7.53 = 9.41 \text{ Amp}$$

Fusible para alta tensión valor comercial 10 Amp.

Si comprobamos la elección de la capacidad del transformador obtendríamos:

$$I_{demot} = (8 \times 28) + 42 + 36 = 302 \text{ Amp}$$

Comparando esta corriente con la que es capaz de manejar el transformador (394 Amp) vemos que está sobrado, pero esto se hizo con el fin de prever cargas futuras no permanentes como es la instalación de circuitos para soldadoras en el armado de tanques de flotación para nuevas lumbreras, etc. Debiendo señalarse que deben ser cambiados el interruptor principal y el conductor de tal alimentador a fin de tener una adecuada coordinación de protecciones.

### III.3.2. LUMBRERA, SUPERFICIE, TUNEL Y COMPRESOR

El circuito de la lumbrera consta de: grúa pórtico con motores con una capacidad equivalente a 40 HP trabajando a 440 V; elevador de lumbrera con un motor de 20 HP; existe un taller de carpintería en el cual se tiene una sierra eléctrica accionada por un motor de 20 HP, así como también un taller

mecánico donde se tiene una soldadora con un consumo de 20 Amp. Y también un agitador de mezcla de concreto para la inyección al frente, tal agitador consta de un motor de 30 HP.

Obteniendo de tablas la corriente a plena carga de motores de 40 HP tenemos:

$$I = 52 \text{ Amp}$$

Como conocemos la corriente que consumen los demás motores, pues éstos son del mismo tipo:

$$I_{\text{tot}} = (1.25 \times 52) + (2 \times 28) + 20 + 42 = 170.5 \text{ Amp}$$

Conductor calibre # 2 AWG tipo XLP

$$I_{\text{fus}} = (1.5 \times 52) + (2 \times 28) + 20 + 42 = 196 \text{ Amp}$$

Fusible de valor comercial 200 Amp.

Para cada carga en particular:

Grúa pórtico

Conductor calibre # 8 AWG

Fusible de 80 Amp

Elevador

Conductor calibre # 10 AWG

Fusible de 45 Amp

Sierra

Conductor calibre # 10 AWG

Fusible de 45 Amp

Arrancador tamaño NEMA 2

Soldadora

Conductor calibre # 10 AWG

Fusible de 30 Amp

Agitador de mezcla

Conductor calibre # 8 AWG

Fusible de 70 Amp

Arrancador NEMA 3

En los equipos anteriores donde no se mencionó tipo de arrancador, cabe aclarar que tienen ya su propio medio de arranque.

El alumbrado de superficie representa una carga total de 20 HP repartida en las siguientes áreas: talleres, oficinas, laboratorio, almacén, caseta de vigilancia, cabina de control y alumbrado alrededor de toda la obra.

La corriente máxima demandada será:

$$I = \frac{HP \times 746}{(1.732 E N fp)} \quad \text{donde}$$

HP es la carga expresada en HP (caballos de potencia)

E es el voltaje entre fases

N es la eficiencia en porcentaje

fp es el factor de potencia

$$I = \frac{20 \times 746}{(1.732 \times 220 \times 0.9 \times 0.85)} = 61.18 \text{ Amp}$$

Por tanto el conductor será de calibre # 2 AWG y su interruptor para 70 Amp.

Para el primario del transformador se requiere un cortacircuitos con fusibles de valor:

$$I_n = \frac{50}{\sqrt{3} \times 0.44} = 65.61 \text{ Amp}$$

$$I_{fus} = 1.25 \times 65.61 = 82.01 \text{ Amp}$$

Valor comercial 90 Amp

Observamos que contamos con una reserva considerable para alumbrado en trabajos eventuales que requieren de hacerse durante la noche.

Como básicamente esta obra tiene una forma circular con un diámetro de aproximadamente 40 m., el conductor deberá recorrer todo el perímetro para poder repartir la energía; así pues, dicho perímetro es de aproximadamente 125 m.; si elegimos el conductor calibre # 2 AWG tendremos una caída de:

$$E\% = \frac{(2 \times \sqrt{3} \times 125 \times 61.18)}{33.6 \times 220} = 2.99\%$$

Caída que no afecta el funcionamiento del equipo.

Este circuito también proporciona energía al alumbrado del túnel durante los primeros 400 metros, para lo cual se emplea un transformador de 15 KVA, 440/220 V.

Tenemos que cada aparato de alumbrado consume 110 Watts, es decir tiene dos tubos fluorescentes de 55 W; ahora bien la corriente que consume cada lámpara es:



$$I = \frac{KW \times 1000}{2 \times E \times f_p}$$

Cabe aclarar que el alumbrado trabaja en dos fases a 220

V.

$$I = \frac{0.11 \times 1000}{2 \times 220 \times 0.85} = 0.29 \text{ Amp}$$

En 400 metros de túnel tenemos un total de 100 aparatos de alumbrado los cuales consumen:

$$I = (100 \times 0.29) = 29 \text{ Amp}$$

Si elegimos el conductor calibre # 2 AWG, la caída de tensión será:

$$E\% = \frac{(2 \times \sqrt{3} \times 400 \times 29)}{33.6 \times 220} = 5.4\%$$

La corriente que maneja el transformador de 15 KVA es:

$$I_n = \frac{15}{\sqrt{3} \times 0.22} = 39.38 \text{ Amp}$$

Interruptor con fusible comercial de 40 Amp.

Para el primario del transformador:

$$I_n = \frac{15}{\sqrt{3} \times 0.44} = 19.7 \text{ Amp}$$

Protegiendo al 125%

$$I_{fus} = 1.25 \times 19.7 = 24.62 \text{ Amp}$$

Valor comercial 25 Amp

El compresor estacionario tiene un motor de inducción mismo que es arrancado a tensión reducida. De tablas obtenemos su corriente a plena carga:

$$I = (1.25 \times 188) = 235 \text{ Amp}$$

El conductor será calibre # 2/0 AWG tipo XLP al aire libre

El fusible de 300 Amp

El calibre del conductor para el alimentador será:

$$I = (1.25 \times 188) + 14.5 + 25.59 + 170 = 445.09 \text{ Amp}$$

Conductor calibre # 300 MCM

El dispositivo para corto-circuito:

$$I = (1.5 \times 188) + 14.5 + 25.59 + 170 = 492.09 \text{ Amp}$$

Fusible valor comercial 500 Amp

### III.3.3. ESCUDO, TRASPALEO, ALUMBRADO Y VENTILACION

De acuerdo a la descripción hecha en el capítulo anterior, el escudo queda conformado por las siguientes cargas:

Bomba de descarga con motor de 20 HP, 440 V

Unidad hidráulica de empuje con dos motores de 15 HP, 220 V

Unidad hidráulica del cortador con tres motores de 40 HP, 220 V

Unidad hidráulica del colocador con un motor de 10 HP, 220 V

Unidad hidráulica de los agitadores con dos motores de 20 HP, 220 V

Unidad neumática con un motor de 5 HP, 220 V

Bomba para achique con un motor de 30 HP, 220 V

Polipasto para manejo de dovelas con un motor de 5 HP, 220 V

Bomba moyno con un motor de 20 HP, 220 V

Fuente de iluminación 2 HP, 127 V

Ventilador con un motor de 5 HP, 127 V

Reserva de 13 HP

Si sumáramos estas cargas tendríamos una carga total de 300 HP y podríamos calcular la corriente demandada, pero estaríamos suponiendo que todo el equipo del escudo trabaja al mismo tiempo, lo cual no sucede, y estaríamos expuestos a la elección de un conductor por demás sobrado y que también afectaría económicamente a la compañía constructora. Debido a esto, debe hacerse el cálculo en base a la demanda máxima de corriente, para lo cual debe indagarse cuál es el momento en el que el equipo excavador lo hace.

Es obvio, que en el momento del empuje entra en funcionamiento la mayor cantidad de equipo, así podemos calcular dicha carga. Y encontramos que son los siguientes equipos:

Unidad de empuje  
Unidad del cortador  
Unidad de los agitadores  
Unidad neumática  
Bomba de descarga  
Iluminación y ventilación de la cabina

Si sumamos estas cargas tendremos 222 HP

Cabe aclarar que la bomba de descarga es el único equipo que trabaja a 440 V, y que el transformador eléctrico del escudo, alimenta por medio de una salida especial a esta tensión. El resto del equipo trabaja a 220 V.

Calculando la corriente demandada

Bomba de descarga

En el primario del transformador tendremos

$$I_p = \frac{440 \times 28}{2300} = 5.35 \text{ Amp}$$

Si el resto del equipo lo consideramos como uno solo, y decimos que trabajamos a un factor de potencia de 0.85, con una eficiencia de 0.9 obtendremos:

$$I = \frac{222 \times 746}{1.732 \times 220 \times 0.9 \times 0.85} = 568.13 \text{ Amp}$$

En el primario del transformador tendremos:

$$I = \frac{220 \times 568.13}{2300} = 54.34 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{tot}} = 54.34 + 5.35 = 59.69 \text{ Amp}$$

También tenemos diez bombas de traspaleo accionadas por motores de 20 HP trabajando a 440 V. Para su funcionamiento se instala una subestación secundaria por cada bomba dentro del túnel con un transformador de 50 KVA 2300/440 V cada 200 m.

Así tenemos:

$$I_{\text{tot}} = (10 \times 28) = 280 \text{ Amp}$$

En el primario del transformador:

$$I = \frac{440 \times 280}{2300} = 63.68 \text{ Amp}$$

Así también, cada 400 m requerimos de una subestación para alumbrado y ventilación con un transformador de 75 KVA 2300/220 V.

Tendremos 400 aparatos de alumbrado que consumen:

$$I = (400 \times 0.29) = 116 \text{ Amp}$$

En el primario del transformador:

$$I = \frac{220 \times 116}{2300} = 11.09 \text{ Amp}$$

Cabe hacer la aclaración que los motores para ventilación de 15 HP cada uno son cambiados cada 400 m. es decir no se tiene ventilación a lo largo de todo el túnel; también es tomada la energía para éstos del transformador para alumbrado.

Dichos motores consumen una corriente de 22 Amp. que al ser reflejados al primario del transformador tenemos  $I = 4.2$  Amp.

$$I = 11.09 + 4.2 = 15.29 \text{ Amp}$$

Sumando estas corrientes tendremos:

$$I_{\text{tot}} = 59.69 + 53.56 + 15.29 = 128.54 \text{ Amp}$$

El fusible de potencia para el interruptor en aire será de:

$$I_{\text{fus}} = (1.5 \times 59.69) + 53.56 + 15.29 = 158.39 \text{ Amp}$$

Valor comercial 160 Amp

Y el listón fusible para el corta-circuitos del primario del transformador:

$$I_{nom} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 23} = 12.56 \text{ Amp}$$

Protegiendo al 125 %

$$I_{fus} = 12.56 \times 1.25 = 15.69 \text{ Amp}$$

Valor comercial 16 Amp

Si consultamos tablas de calibración los fabricantes nos recomiendan inclusive hasta un valor de 25 Amp.

Si elegimos un conductor calibre # 3/0 AWG tendríamos una caída:

$$E\% = \frac{2 \times \sqrt{3} \times 2000 \times 128.54}{85 \times 2300} = 4.65\%$$

Caída que es admisible sin que ocasione problemas al equipo. En el siguiente capítulo se llevará a cabo el cálculo del efecto inductivo en el conductor, y entonces podremos saber si es adecuado el calibre antes seleccionado.

Comprobando la capacidad del transformador de 500 KVA:

$$I_n = \frac{500}{\sqrt{3} \times 2.3} = 126.61 \text{ Amp}$$

Sumando corrientes demandadas en el bus de 2300 V:

$$I_{tot} = 59.69 + 53.86 + 11.09 + 4.2 = 128.8 \text{ Amp}$$

Tendríamos un transformador sobrecargado en un 2.38%. Según los razonamientos seguidos para protección de transformadores, éstos se pueden sobrecargar hasta un 25% sin llegar a afectar esto en su funcionamiento o inclusive sufrir elevaciones de temperatura peligrosas.

Ahora para cada carga en particular:

#### Traspaleo

Según folletos de fabricantes (SQUARE D) para nuestras bombas de traspaleo podemos emplear como dispositivo de protección contra corto-circuito un interruptor termomagnético de 70 Amp; en cuanto a su medio de arranque como ya se ha explicado antes existen gabinetes especiales que contienen relevadores, contactores, etc. pues la aplicación de estas bombas es más delicada pues se tiene que mantener una sincronización en su arranque el cual es a distancia.

Para protección del transformador:

$$I_{nom} = \frac{50}{\sqrt{3} \times 2.3} = 12.55 \text{ Amp}$$

El fusible será de:

$$I = 1.25 \times 12.55 = 15.68 \text{ Amp}$$

Valor comercial 15 Amp



## Escudo

Como medio de protección contra corto-circuito como se mencionó en el capítulo II, es empleado un interruptor termomagnético tripolar de 1200-1400 Amp.

Y para protección del transformador:

$$I_{nom} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 2.3} = 100.41 \text{ Amp}$$

El fusible de potencia será:

$$I = 1.25 \times 100.41 = 125.51 \text{ Amp}$$

Valor comercial 125 Amp

## Alumbrado y ventilación

Para el circuito derivado de alumbrado empleamos como dispositivo contra corto-circuito un interruptor con fusible de 125 Amp, pues la corriente nominal que demandará el circuito será de 116 Amp.

Para el circuito derivado de los ventiladores tendremos un interruptor general con fusible de valor:

$$I_{fua} = (1.5 \times 22) + 22 = 55 \text{ Amp}$$

Valor comercial 50 Amp

Y para cada ventilador uno de 35 Amp

El interruptor general para alumbrado y ventilación será  
de:

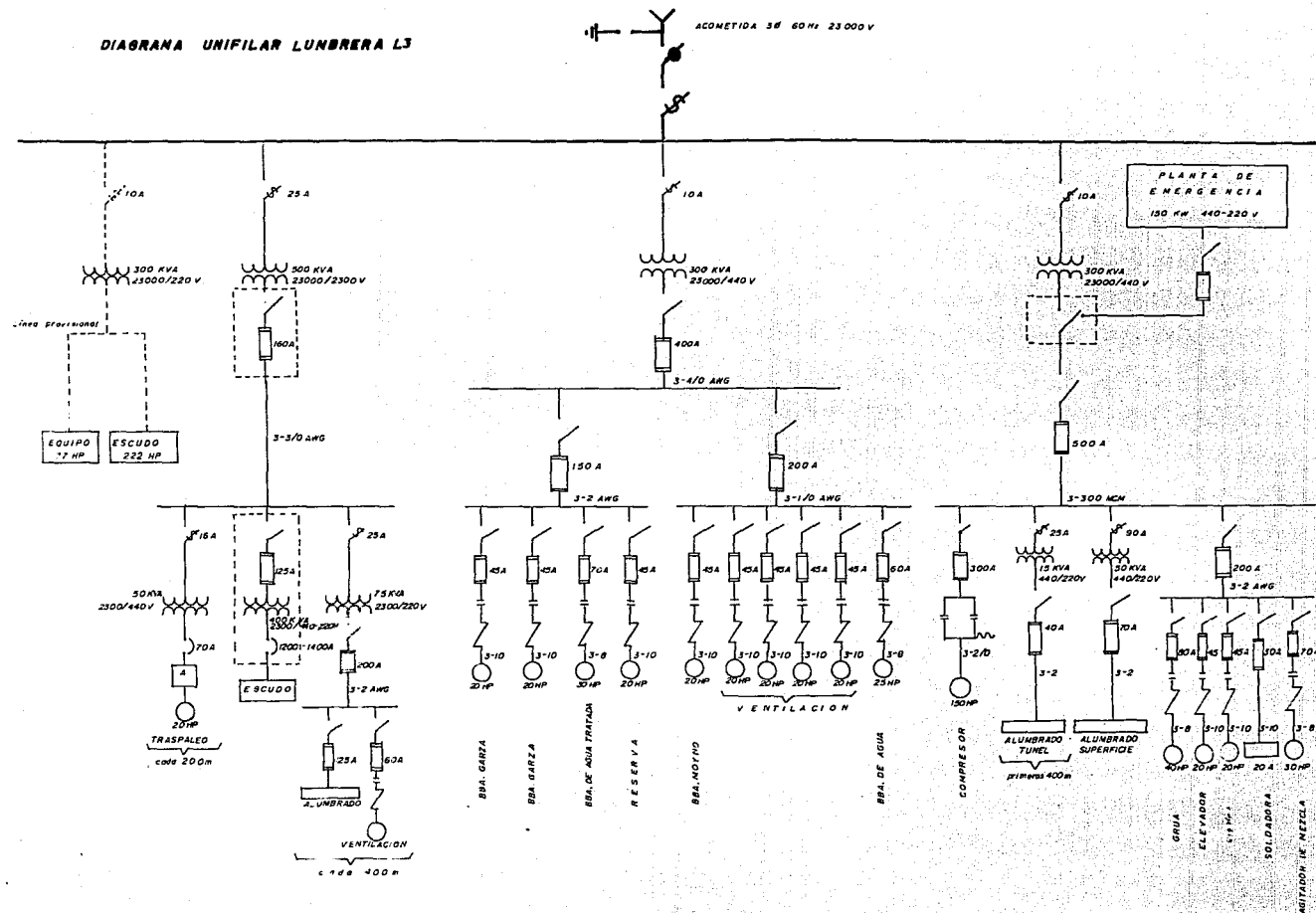
$$I_{fus} = (1.5 \times 44) + 116 = 182 \text{ Amp}$$

Valor comercial 200 Amp

$$I_{cond} = (1.25 \times 44) + 116 = 171 \text{ Amp}$$

Conductor calibre # 2 AWG

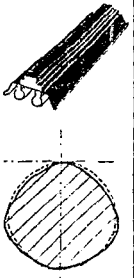
**DIAGRAMA UNIFILAR LUBRERA L3**



MOTADOR DE NEZCLA

	Mín. Tax	Rec. Tax
Trabajos muy delicados en el banco o en la máquina, fabricación de herramientas e hileras, comprobación con el calibre, rectificación de piezas de precisión . . . . .	1.000	1.500
Trabajo en pequeñas piezas en el banco o en la máquina, rectificación de piezas medianas y pequeñas, reglaje de máquinas automáticas . . . . .	500	700
Trabajo de piezas medianas en el banco o en la máquina, rectificación de piezas grandes . . . . .	300	500
<b>Soldadura:</b>		
Soldadura de trabajos muy finos (Electrónica) . . . . .	500	700
Soldadura de trabajos finos (aparatos de radio) . . . . .	300	500
Soldadura por contacto de piezas medianas . . . . .	200	300
Soldadura por contacto de piezas grandes . . . . .	150	200
Soldadura al soplete . . . . .	100	150
<b>Tratamiento superficial de los metales:</b>		
Tratamiento electrolítico, niquelado, cromado . . . . .	150	200
<b>Avivado (alumbreado especial) . . . . .</b>	200	300
<b>Pulimentado ordinario . . . . .</b>	150	200
<b>Fundiciones:</b>		
Depósitos y almacenes . . . . .	100	150
Almacén de arena:		
a) Manipulaciones manuales (transporte, tamizado, mezcla) . .	100	150
b) Manipulaciones automáticas (transportadores, elevadores, separadores, molinos y tamices) . . . . .	100	150
Talleres de modelado y cajas de machos:		
Fino . . . . .	200	300
Grueso . . . . .	100	150
Alumbreado localizado de formas profundas. Al. especial . . . .		
Placas modelos . . . . .	200	300
Cubilote:		
Pesada de las cargas (alumbreado especial sin deslumbramiento sobre el plano de lectura) . . . . .	150	200
Plataforma delante de horn., nave de colada en las cucharas . . .	100	150
Taller de moldeo:		
Alumbreado general . . . . .	100	150
Alumbreado localizado en los moldes . . . . .	500	700
Desmoldeo y desarenado . . . . .	100	150
Rebarbado . . . . .	200	300
<b>Forjas y fundiciones de aceros:</b>		
Almacenaje del mineral y el carbón . . . . .	100	150
Carga de altos hornos . . . . .		especial
Naves de colada . . . . .	100	150
Naves de convertidores (2. <sup>a</sup> colada) . . . . .	100	150
Talleres de fabricación:		
Martillo-pilón, laminadores, etc. . . . .	100	150
Forjas . . . . .	100	150
Laminado y cizallado de piezas pequeñas, laminado en frío y trefilado . . . . .	200	300

TABLA 80. CÁLCULO DE PROYECTOS DE ILUMINACIÓN INTERIOR. LÁMPARAS FLUORESCENTES.  
ILUMINACIÓN DIRECTA CON ARMADURA SENCILLA

Aparato de alumbrado		Indice del local K	Factores de utilización									Factores de depreciación			
Tipo	Rend. $\eta$ , A		$\rho_T=0,7$			$\rho_T=0,5$			$\rho_T=0,3$			Limpieza cada			
		$\rho_p=0,5$	$\rho_p=0,3$	$\rho_p=0,1$	$\rho_p=0,5$	$\rho_p=0,3$	$\rho_p=0,1$	$\rho_p=0,5$	$\rho_p=0,3$	$\rho_p=0,1$	1 año	2 años	3 años		
DIRECTO Armadura de artesas con lámparas fluorescentes		0 ↑ 82 ↓ 82	1	0,29	0,24	0,20	0,29	0,23	0,20	0,28	0,23	0,20			
			1,2	0,35	0,29	0,25	0,34	0,28	0,25	0,33	0,28	0,24			
			1,5	0,41	0,36	0,31	0,41	0,35	0,31	0,40	0,35	0,31			
			2	0,50	0,45	0,41	0,49	0,44	0,41	0,48	0,44	0,41			
			2,5	0,55	0,50	0,47	0,54	0,50	0,46	0,53	0,50	0,46	Ensuciamiento bajo		
			3	0,59	0,55	0,51	0,58	0,54	0,51	0,58	0,54	0,51	×	×	×
			4	0,65	0,61	0,58	0,64	0,60	0,58	0,63	0,60	0,57	Ensuc. normal		
			5	0,68	0,65	0,62	0,67	0,64	0,62	0,66	0,64	0,62	1,40	1,70	1,90
			6	0,70	0,67	0,65	0,69	0,67	0,65	0,69	0,67	0,65			
			8	0,73	0,71	0,69	0,72	0,71	0,69	0,72	0,70	0,69	Ensuciamiento alto		
10	0,75	0,73	0,71	0,74	0,73	0,71	0,74	0,72	0,71	1,85	2,55	3,10			
1 aparato de alumbrado en el centro del local															
			1	0,32	0,26	0,22	0,31	0,26	0,22	0,30	0,26	0,22			
			1,2	0,38	0,33	0,29	0,37	0,32	0,29	0,37	0,32	0,29			
			1,5	0,46	0,41	0,38	0,46	0,41	0,38	0,45	0,41	0,38			
			2	0,57	0,53	0,50	0,57	0,53	0,50	0,56	0,53	0,50			

## Lámparas fluorescentes de arranque rápido

Para uso con balasto de arranque rápido.

CODIGO	WATTS	BOMBILLA	CASQUILLO	ACABADO	PRECIO POR PIEZA			IDENTIFICACION	PIEZAS EN CAJA	VIDA APROX. HORAS	LUMENES INIC. APROX.	LARGO TOTAL CM.
					JULIO	AGOSTO	SEPT.					
316211	25	T-12	Clav Med G-13	Luz de Dia	\$ 5,767	\$ 6,229	\$ 6,778	20W/T38/SD/LD	30	9,000	1,075	61.0
316221	20	T-12	Clav Med G-13	Clav Frio	5,767	6,229	6,778	20W/T38/SD/BF	30	9,000	1,250	61.0
316231	20	T-12	Clav Med G-13	Bco. Cálido	5,767	6,229	6,778	20W/T38/SD/BBC	30	9,000	1,300	61.0
316211	50	T-12	Clav Med G-13	Luz de Dia	12,095	13,053	14,109	30W/T38/AR/LD	30	12,000	1,350	91.4
316211	30	T-12	Clav Med G-13	Bco. Frio	12,095	13,053	14,109	30W/T38/AR/BF	30	12,000	1,550	91.4
324011	40	T-12	Clav Med G-13	Luz de Dia	5,580	6,459	6,976	40W/T38/AR/LD	30	12,000	2,650	121.9
324021	40	T-12	Clav Med G-13	Bco. Frio	5,580	6,459	6,976	40W/T38/AR/BF	30	12,000	3,120	121.9
324031	40	T-12	Clav Med G-13	Bco. Cálido	5,580	6,459	6,976	40W/T38/AR/BBC	30	12,000	3,200	121.9
324131	40	T-12	Clav Med G-13	Amar Rep Insec	9,059	9,627	10,614	40W/T38/AR/AR	30	12,000	1,980	121.9

## Lámparas fluorescentes de arranque instantáneo

CODIGO	WATTS	BOMBILLA	CASQUILLO	ACABADO	PRECIO POR PIEZA			IDENTIFICACION	PIEZAS EN CAJA	VIDA APROX. HORAS	LUMENES INIC. APROX.	LARGO TOTAL CM.
					JULIO	AGOSTO	SEPT.					
325011	40	T-12	Clav Med G-13	Luz de Dia	\$ 11,132	\$ 12,023	\$ 12,985	40W/T38/AR/LD	30	9,000	2,600	121.9

## Lámparas fluorescentes Slimline

CODIGO	WATTS	BOMBILLA	CASQUILLO	ACABADO	PRECIO POR PIEZA			IDENTIFICACION	PIEZAS EN CAJA	VIDA APROX. HORAS	LUMENES INIC. APROX.	LARGO TOTAL CM.
					JULIO	AGOSTO	SEPT.					
327111	21	T-12	Clav Med G-8	Luz de Dia	\$ 7,244	\$ 7,824	\$ 8,410	21W/T24/AR/LD	30	7,500	1,630	50.9
327121	24	T-12	Clav Med G-8	Bco. Frio	7,244	7,824	8,410	21W/T24/AR/BF	30	7,500	1,180	50.9
327131	24	T-12	Clav Med G-8	Luz de Dia	7,244	7,824	8,410	21W/T24/AR/LD	30	9,000	2,050	50.9
327141	39	T-12	Clav Med G-8	Bco. Frio	7,549	8,153	8,765	39W/T30/AR/BF	30	9,000	3,000	51.9
327151	39	T-12	Clav Med G-8	Bco. Cálido	7,549	8,153	8,765	39W/T30/AR/BBC	30	9,000	3,050	51.9
327161	39	T-12	Clav Med G-8	Amar Rep Insec	11,016	11,662	12,310	39W/T30/AR/AR	30	9,000	1,120	51.9
327211	55	T-12	Clav Med G-8	Luz de Dia	8,911	9,475	10,049	55W/T36/AR/LD	24	12,000	3,900	102.7
327221	55	T-12	Clav Med G-8	Bco. Frio	8,911	9,475	10,049	55W/T36/AR/BF	24	12,000	4,100	102.7
327231	55	T-12	Clav Med G-8	Bco. Cálido	8,911	9,475	10,049	55W/T36/AR/BBC	24	12,000	4,200	102.7
327241	75	T-12	Clav Med G-8	Luz de Dia	8,993	9,513	10,031	75W/T36/AR/LD	24	12,000	5,410	104.3
327251	75	T-12	Clav Med G-8	Bco. Frio	8,993	9,513	10,031	75W/T36/AR/BF	24	12,000	6,000	104.3
327261	75	T-12	Clav Med G-8	Bco. Cálido	8,993	9,513	10,031	75W/T36/AR/BBC	24	12,000	6,500	104.3
327271	75	T-12	Clav Med G-8	Amar Rep Insec	13,182	14,037	14,892	75W/T36/AR/AR	24	12,000	4,000	104.3

VER REFERENCIAS EN PAGINA 19

CON AAR

**CORRIENTE A PLENA CARGA DE MOTORES TRIFASICOS  
DE CORRIENTE ALTERNA**

H.P.	MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA	
	220 V	440 V
1/2	2.1	1.0
3/4	2.9	1.5
1	3.8	1.9
1 1/2	5.4	2.7
2	7.1	3.6
3	10	6
5	15.9	7.9
7 1/2	23	11
10	29	15
15	44	22
20	58	28
25	71	36
30	84	42
40	109	54
50	136	68
60	161	80
75	201	100
100	259	130
125	326	163
150	376	188
200	502	251

**CAPACIDAD MAXIMA O AJUSTE DEL DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA CORTO CIRCUITO Y FALLA A TIERRA PARA EL CIRCUITO DERIVADO DE MOTORES.**

TIPO DE MOTOR	PORCIENTO DE LA CORRIENTE A PLENA CARGA			
	FUSIBLE SIN RETRASO DE TIEMPO	ELEMENTO DUAL (FUSIBLE CON RETRASO)	INTERRUPTOR CON DISPARO INSTANTANEO	INTERRUPTOR DE TIEMPO INVERSO
MONOFASICO, TODOS LOS TIPOS SIN LETRA DE CODIGO.	300	175	700	250
TODOS LOS MOTORES MONOFASICOS Y POLIFASICOS JAULA DE ARDILLA CON ARRANQUE A VOLTAJE PLENO, O ARRANQUE POR FACTOR O RESISTOR.				
SIN LETRA DE CODIGO	300	175	700	250
LETRAS DE CODIGO F a V	300	175	700	250
LETRAS DE CODIGO B a E	250	175	700	200
LETRA DE CODIGO A	150	150	700	150
TODOS LOS MOTORES DE JAULA DE ARDILLA Y SINCRONOS CON ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR NO MAYORES DE 30 AMPERES SIN LETRA DE CODIGO.	250	175	700	200
MAYORES DE 30 AMPERES				
SIN LETRA DE CODIGO	200	175	700	200
LETRAS DE CODIGO F a V	250	175	700	200
LETRAS DE CODIGO B a E	200	175	700	200
LETRA DE CODIGO A	150	150	700	150
JAULA DE ARDILLA CON ALTA REACTANCIA NO MAYORES DE 30 AMPERES SIN LETRA DE CODIGO.	250	175	700	250
MAYORES DE 30 AMPERES				
SIN LETRA DE CODIGO.	200	175	700	200
ROTOR DEVANADO SIN LETRA DE CODIGO.	150	150	250	150



# CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE

## CABLE VULCANEL XLP

AWG O MCM	3 EN DUCTO O ENTERRADOS	EN CHAROLA O AL AIRE LIBRE
14	16	20
12	22	25
10	33	40
8	55	70
6	71	95
4	93	125
2	125	170
0	165	230
00	192	265
000	220	310
0000	253	360
250	280	405
300	313	455
400	358	545
500	418	620
750	522	785
1000	599	935

Amperes	250 volts	600 volts
	Catálogo No.	Catálogo No.
1, 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30	Símbolo del	Símbolo del
35, 40, 45, 50, 60	catálogo	catálogo
70, 80, 90, 100	"LEN"	"LES"
125, 150, 175, 200	seguido por	seguido por
225, 250, 300, 350, 400	los amperes.	los amperes.
450, 500, 600		

VALORES COMERCIALES DE FUSIBLES

F P E

# CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE DE

## CONDUCTORES DE COBRE AISLADOS

TEMPERATURA AMBIENTE 30° C

TEMPERATURA MAXIMA DEL AISLAMIENTO 75° C

### TIPO THWN

CALIBRE	EN TUBERIA O CABLE	AL AIRE
14	15	20
12	20	25
10	30	40
8	45	65
6	65	95
4	85	125
2	115	170
0	150	230
00	175	265
000	200	310
0000	230	360

# AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL

## DE CONDUCTORES DE COBRE

	CALIBRE AWG O MCM	AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )
A		
L	18	0.823
A	16	1.308
M	14	2.08
B	12	3.31
R	10	5.26
E		
S		
	18	0.823
	16	1.308
	14	2.08
	12	3.31
	10	5.26
	8	8.37
	6	13.30
C	4	21.16
A	2	33.6
B	0	53.5
L	00	67.4
E	000	85.0
S	0000	107.2
	250	126.7
	300	152.0
	400	202.7
	500	253.3
	750	380.0
	1000	508.7

## TAMAÑOS DE LOS CONTROLADORES

(DESIGNACIONES NEMA)

TAMAÑO DEL ARRANCADOR	H. P. MAXIMOS DEL MOTOR TRIFASICO	VOLTAJE DEL MOTOR
00	1/3	
0	1 1/2	
1	3	110
2	7 1/2	
3	15	
4	25	
00	1 1/2	
0	2	
1	5	
2	15	
3	30	
4	50	208-220
5	100	
6	200	
7	300	
8	450	
00	2	
0	3	
1	7 1/2	
2	25	
3	50	
4	100	440-550
5	200	
6	400	
7	600	
8	900	

**IV. CALCULO PARA PROGRAMACION DE INSTALACION  
DE EQUIPO E INTERCAMBIO DE  
PROTECCIONES SEGUN EL AVANCE DE LA OBRA.**

## CONTENIDO

### IV.1 CONDUCTORES

#### IV.1.1. EL CONDUCTOR

#### IV.1.2. MATERIALES AISLANTES EMPLEADOS EN LOS CONDUCTORES PARA INSTALACIONES INTERIORES

#### IV.1.3. COMPOSICION DEL CONDUCTOR

#### IV.1.4. CAIDA DE VOLTAJE

#### IV.1.5. CALCULO DEL EFECTO INDUCTIVO EN LA LINEA DE 2300 V.

### IV.2 MOTORES

#### IV.2.1. CONCEPTO

#### IV.2.2. PROTECCION DE LOS MOTORES

#### IV.2.3. CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

#### IV.2.4. EJEMPLOS DE CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL MOTOR

#### IV.2.4.1. CALCULO DE LA POTENCIA DEL SISTEMA MONORRIEL DEL POLIPASTO

#### IV.2.4.2. CALCULO DE LA POTENCIA DEL ARBOL PRINCIPAL

### IV.3 CONTROLADORES

#### IV.3.1. PROPOSITO DEL CONTROLADOR

#### IV.3.2. CONTROL MANUAL

#### IV.3.3. ARRANCADORES MAGNETICOS PARA EL VOLTAJE DE LINEA

### IV.4 COORDINACION DE PROTECCIONES

#### IV.4.1. CONCEPTO

#### IV.4.2. RELACION TIEMPO-CORRIENTE EN EL FUSIBLE

#### IV.4.3. COORDINACION FUSIBLE-FUSIBLE

#### IV.4.4. CRECIMIENTO DE LA CARGA INSTALADA

#### IV.4.5. MEMORIA DE CALCULO DE LA COORDINACION

## IV.1 CONDUCTORES

### IV.1.1 EL CONDUCTOR

En toda instalación eléctrica, el conductor es una de las partes primordiales para el correcto y seguro funcionamiento del equipo a conectar. De su correcto cálculo y selección depende aquello. Debido a esto se hace necesario conocer las características principales de él, así como la forma en que ha de ser seleccionado de acuerdo con la aplicación correspondiente. Así pues, a continuación se describen dichas características y componentes de un conductor.

Un conductor es un cuerpo constituido de un material de alta conductividad que puede ser utilizado para el transporte de corriente eléctrica.

Los conductores que se emplean en instalaciones interiores se presentan en forma de hilos o de cables.

Se llama hilo a toda varilla delgada y estirada de metal, queriendo decir con "delgada" que su longitud es muy grande si se compara con su diámetro. Será hilo desnudo si no está provisto de aislamiento, e hilo aislado si está cubierto de uno o más materiales aislantes. Cabe señalar que en instalaciones interiores por lo común se emplean hilos aislados.

Se denomina cable o conductor cableado a un conductor constituido por un grupo de hilos o de una combinación de grupos de hilos, trenzados y retorcidos juntos.



Podemos encontrar fácilmente la ventaja de la flexibilidad del cable sobre el hilo.


Estructuralmente un conductor para instalaciones interiores está constituido por:

- 1) En la parte central encontramos los conductores propiamente dichos, que son los destinados a conducir la corriente; en la mayor parte de los casos son de cobre o aluminio.
- 2) Cada conductor (en el caso de cables: grupo de conductores) lleva su propio aislamiento, destinado a aislarlo eléctricamente de los demás conductores. Al conjunto formado por cada conductor (o grupo de conductores) y su propio aislamiento se denomina alma o vena.
- 3) El conjunto de conductores de un hilo o cable policonductor lleva muchas veces un aislamiento común, denominado cintura, que es aplicado sobre las almas reunidas y que, generalmente, es del mismo material que el aislamiento. Los huecos formados entre la cintura y las almas se rellena con un espesor aislante o material de relleno.

El aislamiento, la cintura y el material de relleno constituyen los recubrimientos aislantes; es decir, los encargados de evitar perforaciones a causa del campo eléctrico que existe entre los conductores y entre éstos y tierra. Complementariamente a los recubrimientos, los hilos y cables tienen distintos recubrimientos protectores que no tienen función principalmente eléctrica, sino que su función es proteger al hilo o cable de esfuerzos tales como mecánicos, químicos y otros.

#### IV.12. MATERIALES AISLANTES EMPLEADOS EN LOS CONDUCTORES PARA INSTALACIONES INTERIORES

Los materiales aislantes empleados en conductores para instalaciones interiores los podemos agrupar en:

- 1. Plásticos 
  - Termoplásticos
  - Termoestables

- 2. Elastómeros (derivados del caucho)

Los materiales termoplásticos se ablandan con el calor, lo que permite moldearlos repetidas veces sin que pierdan sus propiedades.

Los materiales termoestables solamente son plásticos al calentarse por primera vez en su proceso de fabricación.

Los elastómeros son materiales elásticos, que se extienden cuando se someten a tensión mecánica sin que se sobrepase su límite de elasticidad.

Los materiales empleados como recubrimientos protectores para los conductores mencionados son las fibras textiles alquitránadas y, también los materiales empleados en los aislamientos interiores.

La finalidad de describir las características de los conductores es la de observar la importancia que tiene una buena selección que se haga de él, pues como en nuestra obra

debemos de hacer uso de una gran cantidad de conductor para la instalación del equipo.

Las condiciones prevalecientes en una obra de este tipo, podría decirse que exigen el mayor margen de seguridad, confiabilidad y continuidad en el suministro de energía a equipos, pues a saber, tenemos un alto grado de humedad, trato rudo y en ocasiones temperaturas "elevadas".

Con los datos anteriores, si consultamos tablas de características de conductores, para los circuitos alimentadores podemos optar por el conductor tipo XLP, ya que es un cable de cobre o aluminio, cinta semiconductor, aislamiento de polietileno negro vulcanizado. Sirve tanto para distribución como para acometidas a subestaciones, ya que está limitado a 5000 V.

Para circuitos derivados podemos emplear tipo THWN ya que es un conductor resistente a la humedad con cubierta exterior.

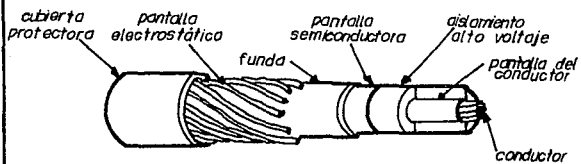
Analizando más concretamente las partes del conductor para nuestra aplicación, en específico la línea de alimentación del escudo que tiene que soportar una tensión de 2300 V a lo largo del túnel.

#### IV.13. COMPOSICION DEL CONDUCTOR

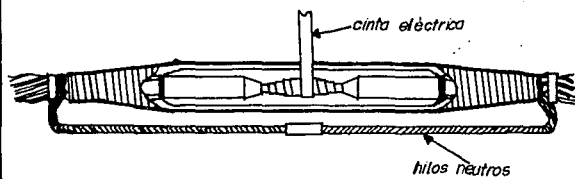
Ya que elegimos cable poliphel de alta tensión, en seguida se describen sus partes.

1. Conductor. Como ya se ha mencionado anteriormente puede ser de cobre o aluminio. Su función es la de conducir la corriente.

PARTES



EMPALME



CONDUCTORES

2. **Pantalla semiconductor** extruida sobre el conductor. La función de ésta es distribuir el campo eléctrico en la superficie exterior del conductor, evitando así la concentración de esfuerzos eléctricos peligrosos en la superficie del conductor.
3. **Aislamiento del conductor.** Su principal función es la de controlar y aislar el campo eléctrico. Los aislamientos más comunes son PVC (cloruro de polivinilo), PE (polietileno natural), SBR (estireno butadieno-hule butilo), XLP (polietileno vulcanizado de cadena cruzada), EPR (etileno propileno).
4. **Pantalla electrostática.** En cable con aislamiento sólido dicha pantalla está constituida por dos elementos: elemento semiconductor, que es una cinta de material textil impregnada en negro humo o con compuesto del propio aislamiento pero con partículas de carbón para volverlo semiconductor y, elemento conductor formado por una cinta de cobre desnuda o estañada, que se halla aplicada helicoidalmente, o una espiral conformada por alambres de cobre. La función principal de ésta es la de confinar el campo eléctrico en el interior del aislamiento, disminuyendo así gradientes de potencial peligrosos en la superficie de los cables.
5. **Separador.** Generalmente Mylar que es un material no higroscópico, no metálico. Facilita el manejo del cable y no deja que el material extruido de la chaqueta se pegue en la pantalla de cobre.
6. **Chaqueta o cubierta protectora.** El material de la chaqueta o cubierta protectora, debe ser de materiales compatibles

con los aislamientos (mismos coeficientes de dilatación, temperatura de operación, etc.) y pueden ser: PVC, PE, PB (plomo) o neopreno. Su función principal es la protección mecánica del cable y una apropiada identificación del cable.

#### IV.14. CAIDA DE VOLTAJE

En una instalación eléctrica es importante el cálculo de los conductores tomando en cuenta la caída de tensión, es decir, entra en consideración un factor muy importante, sobre todo en instalaciones como la nuestra, la distancia, que si bien es cierto es una de las más importantes en nuestro caso, pues como se ha dicho manejamos grandes cantidades de conductor en la alimentación de los motores de las bombas de descarga. Así, en seguida se aplica el término "caída de voltaje" y las normas establecidas con referencia a él.

El voltaje en las terminales de la carga es en general menor que el voltaje de alimentación, la diferencia de voltaje entre estos dos puntos es lo que llamamos "la caída de voltaje". Las normas técnicas para instalaciones eléctricas marcan como caída máxima de voltaje el 5%; del cual el 3% se permite a los circuitos derivados (del interruptor a la salida para utilización), y el 2% para el alimentador (de la alimentación al tablero principal).

Una excesiva caída (mayor del 5%) conduce a resultados indeseables tales como: en motores la reducción del voltaje trae consigo un aumento de corriente, esto produce sobrecalentamiento y problemas en el arranque.

#### IV.15. CALCULO DEL EFECTO INDUCTIVO EN LA LINEA DE 2300 V.

Quando una corriente circula a través de un conductor se crea un campo magnético a su alrededor, las líneas del campo magnético forman una trayectoria cerrada alrededor del conductor, y una variación en el valor de la corriente que circula por el conductor origina un cambio en el número de líneas que eslabonan el circuito y es sabido que cualquier cambio en el flujo que eslabona un circuito induce un voltaje en el conductor que es proporcional a la variación del mismo.

Como tenemos una línea trifásica con disposición no equilateral es necesario llevar a cabo una trasposición, es decir para conseguir un balance en las tres fases tenemos que intercambiar la posición de los conductores a intervalos regulares a lo largo de los 2000 metros que comprende dicha línea.

Para líneas trifásicas con disposición asimétrica y conductores trenzados tenemos que la inductancia de cada conductor la podemos calcular a partir de:

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_{sa}}$$

donde:

$L_a$  = Inductancia del conductor a en Henrys por metro

$D_{eq}$  = Distancia equivalente. Media geométrica de la distancia de los conductores.

$D_{sa}$  = Radio medio geométrico del conductor a.

Si sabemos que en el túnel tenemos una disposición como la siguiente:



$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{10 \times 10 \times 20} = 12.8 \text{ cm}$$

El radio medio geométrico se obtiene en función de su radio exterior r:

Si tenemos cable de un solo material y de 7 hilos, de tablas:

$$D_{sa} = 0.726r$$

$$\emptyset = 0.464 \text{ plg} = 1.178 \text{ cm}$$

$$r = 0.589 \text{ cm}$$

$$D_{sa} = 0.726 \times 0.589 = 0.4276 \text{ cm}$$

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{12}{0.4276} = 8.6689 \times 10^{-7} \frac{\text{Hy}}{\text{m}}$$

Para la totalidad de la línea, si sabemos que tiene una longitud aproximada de 2000 m, tendremos una inductancia total de:

$$L_a = 8.6689 \times 10^{-7} \frac{\text{Hy}}{\text{m}} \times 2000 \text{ m} = 1.3338 \times 10^{-3} \text{ Hy}$$

La caída será:

$$E = Z \times I$$

Z = Impedancia de la línea

I = Corriente que circula por la línea



Obteniendo de tablas la resistencia para el conductor; considerando el peor caso en el que tengamos una temperatura elevada:

$$R = 0.382 \frac{\text{ohms}}{\text{mi}} \times \frac{1 \text{ mi}}{1600 \text{ m}} \times 2000 \text{ m} = 0.4748 \text{ ohms}$$

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \times \pi \times 60 \times 1.3338 \times 10^{-3} = 0.5028 \text{ ohms}$$

$$\text{Como } Z = R + jX$$

$$Z = 0.4748 + j 0.5028 \text{ Ohms}$$

$$E = Z \times I = 0.6918 \angle 46.84^\circ \times 128.54$$

$$E = 88.88 \text{ Volts}$$

Si expresamos este valor en porcentaje tendremos una caída total del 3.86%, valor que difiere un poco al obtenido tomando en cuenta únicamente la longitud y la sección del conductor. Podemos concluir que no se hace necesario un cambio de conductor pues tenemos una caída de tensión que es aceptable.

## IV.2 MOTORES

### IV.2.1 CONCEPTO

Debido a que en nuestra obra en estudio es predominante la presencia de motores, es necesario hacer una descripción general, así como conocer los requerimientos de instalación de este tipo de máquinas.

En ese sentido podemos definir a un motor como una máquina que accionada eléctricamente proporciona energía mecánica. Es común en la práctica, en instalaciones modernas que no se considere al motor por sí solo, sino que existe exclusivamente para la máquina que debe accionar.

Sabemos que un motor genera un movimiento con una cierta fuerza. Así, no basta con decir que un simple movimiento efectuado pueda vencer determinada fuerza, es por el contrario, que el motor tiene que adaptarse a la característica de funcionamiento de la máquina; al mismo tiempo que satisfacer la exigencia del ambiente en el que va a instalarse, debe poder maniobrarse fácilmente y sin peligro; además de no producir un ruido exagerado y responder a los mandos rápidamente.

Como cualidades importantes de un motor podríamos mencionar: el par independiente de la posición angular del rotor, un servicio libre de exhalaciones nocivas y de vibraciones, facilidad de control continuo de funcionamiento.

Así también, los motores eléctricos de pequeña y media potencia, para cumplir las exigencias de montaje de la máquina para la cual se prevén, se construyen con diversas

disposiciones: motores con base de fijación, o con brida, carcasa con brida, con base y brida para su acoplamiento a reductores y bombas, motores con tres superficies de fijación para ventiladores, etc.

#### IV.2.2. PROTECCION DE LOS MOTORES

En el antiguo sistema de transmisión, un solo motor accionaba a través de poleas y correas a una cierta cantidad de máquinas en fábrica. Dicho método tenía como resultado fuertes pérdidas de energía, debido a la fricción. La ventaja de esto radicaba en que se podía instalar el motor en un lugar alejado del ensuciamiento, humedad, etc.

Debido a las técnicas modernas, se exige un motor o algunos de ellos para una sola máquina herramienta. Estudiados para el particular servicio, y montados lo más cercano posible y sobre el mismo eje de la máquina que es accionada. Como resultado de esto se han tenido que perfeccionar los medios de protección de los motores.

Como ya se mencionó anteriormente, en nuestra obra es requerido un motor protegido contra la aspersion del agua, el cual nos proporciona abrigo contra agua que se proyecta horizontal y verticalmente, pero sin presión. El motor protegido contra chorros de agua está defendido contra aspersion, bajo presión de agua y fango.

Existe otro tipo de motor denominado con boca de ventilación, el cual ofrece una protección completa contra la humedad del ambiente, agua y polvo. Entre estos motores podemos elegir dependiendo del sitio a instalarse el motor más óptimo, aunque cabe mencionar que estos tres tipos son los predominantes en nuestra obra.

#### IV.2.3. CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Por característica de funcionamiento debemos entender lo concerniente al comportamiento del motor, con respecto a la máquina que debe accionar, es decir, su calidad de arranque, regularidad de marcha, posibilidad de sobrecarga, inversión de rotación y algún brusco frenado eléctrico.

Para el caso en especial de los motores de las bombas de traspaleo, requerimos de cierto tipo especial de motor ya que existen motores que disminuyen su marcha cuando van más cargados, o sea realizando el máximo esfuerzo a baja velocidad. Debido a esto requerimos un motor que tenga una velocidad independiente de la carga.

Si hablamos del arranque de los motores, debemos decir que el tipo de motor más óptimo para nuestra aplicación es el motor trifásico con rotor en cortocircuito, el cual nos proporciona un fuerte par de arranque útil en el manejo de lodo que afectan las bombas; pero como resultado de ese fuerte par tenemos una absorción de corriente cuyo valor fluctuará entre 6 y 8 veces el valor de la corriente nominal.

Para la justificación de la elección de la tensión de 440 V, que es el voltaje al que trabajan los motores de estas bombas, podemos mencionar que como no son motores de gran potencia y que deseamos reducir la cantidad de cobre, así como la caída de tensión en la línea de 2300 V, es adecuado el manejo de 440 V a través de un transformador de 50 KVA, 2300/440 V, protegido con un cortacircuito tipo expulsión. Del secundario del transformador se obtiene la línea que alimenta a un gabinete que contiene el equipo de control del motor, así como clemas de conexión para cable de control de todas y cada

uno de los demás gabinetes, pues como se mencionó en un capítulo anterior estos motores pueden ser accionados desde la cabina de control en el frente de excavación.

#### IV.2.4. EJEMPLOS DE CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL MOTOR

##### IV.2.4.1. CALCULO DE POTENCIA DEL SISTEMA MONORRIEL DEL POLIPASTO

Contamos con los siguientes datos:

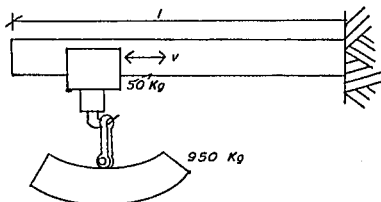
Carga de traslado (Cr) 150 Kg

Carga de operación (Co) 950 Kg

Factor de seguridad (fs) 1.5

Carga de diseño (Cd)  $Cd = Co \times fs = 1425 \text{ Kg}$

Velocidad del carro 15 m/min



Calculando la velocidad angular:

$$v = w \times r$$

$v = 15 \text{ m/min}$ ,  $r = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$  (Radio de la polea)

$$w = \frac{v}{r} = \frac{15 \text{ m/min}}{0.05 \text{ m}} = 300 \text{ rad/min}$$

$$300 \frac{\text{rad}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} = 47.74 \text{ r.p.m.} \approx 50 \text{ r.p.m.}$$

El par lo podemos calcular mediante:

$$T = Cr \times r = 150 \times 0.05 = 7.5 \text{ Kg m}$$

La potencia al freno:

$$P = \frac{T w}{726} = \frac{7.5 \times 50}{726} = 0.519 \text{ H.P.}$$

$$P_r = P \times 1.25 = 0.519 \times 1.25 = 0.65 \text{ H.P.}$$

La potencia del motor considerando la eficiencia

$$P_m = \frac{P_r}{\eta_r} = \frac{0.65}{0.95} = 0.68 \text{ H.P.}$$

Comercialmente solo encontramos motores de 3/4 de H.P. a una velocidad de 550 r.p.m., para lo cual requeriremos de un reductor 11:1.

#### IV.2.4.2. CALCULO DE LA POTENCIA DEL ARBOL PRINCIPAL

Considerando que nuestro par máximo de trabajo es de 51 Ton-m y que las velocidades mínima y máxima son de 0.8 r.p.m. y 12 r.p.m. respectivamente; tendremos una relación de reducción:

$$R_1 = \frac{w_{\text{max}}}{w_{\text{min}}} = \frac{1.2}{0.8} = 1.5$$

El par máximo a la velocidad mínima será:

$$T_w = T_w \times R_1 = 51 \times 1.5 = 76.5 \text{ Ton-m}$$

Dando un 25% de potencia y par para trabajar el equipo en condiciones de holgura, tendremos:

$$T_{wmax} = 76.5 \times 1.25 = 95.6 \text{ Ton-m}$$

Valor que se toma como máximo de par a una velocidad de 0.8 r.p.m.

Las potencias requeridas son:

$$P_w = \frac{T w_1}{726}$$

$$P_{wmax} = \frac{T_{wmax} w_2}{726}$$

$$P_w = \frac{51000 \times 1.2}{726} = 84.3 \text{ H.P.}$$

$$P_{wmax} = \frac{95000 \times 0.8}{726} = 104.7 \text{ H.P.}$$

Esta última será la potencia máxima requerida en el cortador, por lo que la potencia total en los motores será equivalente a la potencia en el cortador menos las pérdidas por rozamiento y deslizamiento en transmisión y cojinetes.

$\eta_t = 95\%$  transmisión

$\eta_c = 95\%$  cojinetes

$\eta_T = 0.90$  eficiencia total considerada

La potencia de los motores será:

$$P_M = \frac{P_{Wmax}}{\eta_T} = \frac{104.7}{0.9} = 116.3 \text{ H.P.}$$

Si empleamos tres motores, entonces se requerirá una potencia unitaria de 38.7 H.P. o bien comercialmente encontramos motores de 40 H.P.



### IV.3 CONTROLADORES

Por control del motor debemos entender que puede comprender desde un simple interruptor hasta un complejo sistema de componentes como: relevadores, controles de tiempo e interruptores. Sin embargo la función es la misma en cualquiera de los casos: controlar la operación de un motor eléctrico. A continuación se da una idea general sobre controladores eléctricos.

#### IV.3.1 PROPOSITO DEL CONTROLADOR

Dentro de los factores a considerar respecto al controlador encontramos: arranque, parada, inversión de la rotación, marcha, control de velocidad, seguridad del operador, protección contra daños y mantenimiento de los dispositivos de arranque. Algunos de ellos ya se han explicado anteriormente, es decir, describimos el tipo de motor que requerimos para nuestros fines, entonces, en base a eso debemos encontrar el tipo de controlador más adecuado. A continuación se hace énfasis en aquellos factores primordiales y que también son aplicables a nuestros motores en cuestión.

**ARRANQUE:** Existen motores que pueden ser arrancados conectándolos directamente a través de la línea. Sin embargo, hay otros que requieren de ser arrancados lenta y gradualmente con el fin de proteger la máquina y también, como es sabido la demanda de corriente en el arranque llega a ser demasiado grande.

**PARADA:** Los controladores permiten el funcionamiento de los motores así como su detención.

**MARCHA:** Dichos controladores protegen a los motores, operadores, máquinas y materiales mientras funcionan.

**PROTECCION CONTRA DAÑOS:** Parte de la función de una máquina automática es la de protegerse así misma contra daños. Por ejemplo, en atascamientos, las máquinas deben ser capaces de detenerse.

#### **MANTENIMIENTO DE LOS**

**DISPOSITIVOS DE ARRANQUE:** Instalados y ajustados adecuadamente, los arrancadores para motor mantendrán: tiempo de arranque, voltaje, corriente y torque en un punto confiable. Los fusibles, cortacircuitos e interruptores de desconexión de tamaño apropiado para arranque, deben apoyarse en una buena práctica de instalación que como es sabido se rige por códigos eléctricos.

A continuación se describen características y componentes de un control manual que en general es el que se maneja en este tipo de instalaciones.

#### **IV.3.2. CONTROL MANUAL**

Un motor se puede controlar manualmente usando los dispositivos siguientes:

**INTERRUPTOR DE VOLQUETE.** Motores de pequeña capacidad pueden ser arrancados con interruptores de este tipo, que se protegen mediante el empleo de fusibles o cortacircuitos en el circuito derivado.

**PROTECCION CONTRA SOBRECARGA.** La protección contra sobrecarga es una característica esencial de todos los controladores, pues protege al motor y se obtiene una potencia máxima bajo cierta condición de sobrecarga y temperatura. La sobrecarga es debida a un exceso de carga en la máquina que es impulsada, por un bajo voltaje en la línea, o por una línea abierta.

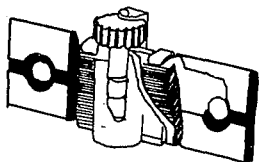
**PROTECCION CONTRA CORTO-CIRCUITO.** Es usual que dicha protección se instale en la misma envolvente que el medio de desconexión del motor. Los fusibles instalados para este propósito, y los cortacircuitos, son dispositivos de sobrecorriente que tratan de proteger los conductores en el circuito derivado del motor, los aparatos de control, escapes a tierra y corrientes prolongadas y excesivas.

Bajo estos principios de control, hablaremos ahora de arrancadores magnéticos, el medio conveniente de control para motores y el más generalizado en nuestra aplicación.

#### IV.3.3. ARRANCADORES MAGNETICOS PARA EL VOLTAJE DE LINEA

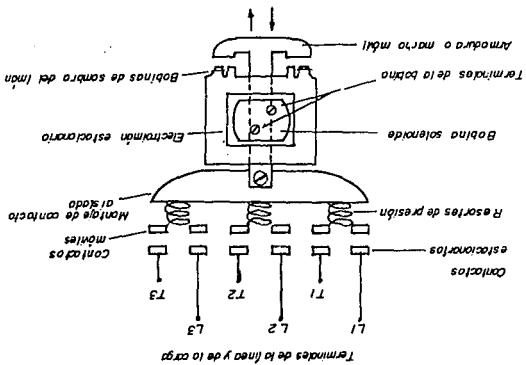
El arrancador magnético del tipo para voltaje de línea, es un dispositivo electromecánico que nos proporciona un medio seguro, conveniente y económico para el arranque y paro de motores. Tiene la característica de poder controlar desde un punto alejado.

Los arrancadores magnéticos pueden ser accionados por medio de varios dispositivos, en nuestro caso empleamos estaciones de botones. Dichos arrancadores son fabricados en varios tamaños, a cada tamaño es designada cierta capacidad en caballos de fuerza. Dichas capacidades corresponden con las normas de la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Eléctricos (NEMA).



*ELEMENTO TERMICO DE SOBRECARGA, DEL TIPO  
ALEACION FUSIBLE*

INTERRUPTOR MAGNETICO DE 3 POLOS, OPERADO POR SOLENOIDE



Se fabrican arrancadores para motores monofásicos y trifásicos (2 y 3 "polos" respectivamente). "Polo" se refiere a los contactos de energía o contactos de carga por motor. Son empleados contactos de doble ruptura para dividir el voltaje por mitades en cada contacto.

Para proteger al motor contra sobrecargas, son empleados relevadores de sobrecarga en un arrancador para limitar a cierto valor predeterminado la cantidad de corriente que demanda. Los elementos térmicos o magnéticos sensibles a la corriente de los relevadores de sobrecarga, se conectan ya sea directamente en las líneas del motor o indirectamente en ellas.

La manera como trabaja el relevador de sobrecarga es la siguiente: la corriente excesiva de sobrecarga del motor pasa por el elemento térmico, fundiendo el depósito de aleación. Así, se permite que la rueda del trinquete gire en el metal fundido, obteniendo por resultado una acción de disparo del circuito de control del arrancador, parándose el motor. Para poderse reanudar el servicio del motor se requiere de un tiempo de enfriamiento para que el depósito de metal se "congele".

Hasta ahora se ha descrito un arrancador magnético que está comercialmente disponible y que constituye el más práctico y probablemente también económico, pero en otros tipos de aplicaciones donde se requiere un mejor control del motor debido a sus características, se opta por un montaje separado, es decir se emplean interruptores electromagnéticos, contactores, relevadores bimetalicos, etc. a fin de obtener un control más preciso y una protección más confiable. A fin de cuentas obtenemos un control y protección del motor adecuados.

## IV.4 COORDINACION DE PROTECCIONES

### IV.4.1. CONCEPTO

Tal vez una de las partes más descuidadas en el diseño de sistemas industriales de alimentación la constituye la selección y coordinación apropiadas de los dispositivos de protección. Una coordinación adecuada evitará daños al equipo, prolongados tiempos de improductividad, así como daños personales.

Un sistema eléctrico correctamente diseñado proporcionará una alimentación continua de energía a un costo razonable. Los daños causados por fallas son indeseables pero irremediablemente inevitables.

Normalmente en sistemas trifásicos los tipos principales de fallas son: de 3 fases, entre fases, 2 fases a tierra, fase a tierra y arqueo. Por ello cuando ocurre una falla, debe interrumpirse el flujo de corriente a la parte en falla de inmediato, sin suspender la alimentación de energía a las zonas restantes. Lo anterior se consigue mediante los dispositivos que realizan la tarea de detectar la falla y efectuar la desconexión. Tales dispositivos son: fusibles, relevadores de protección y desconectores de acción directa que se usan con los disyuntores. Acerca de ellos ya se ha hablado en capítulos anteriores, en concreto de fusibles; por lo cual me enfocaré al estudio de coordinación mediante fusibles.

Las características de tiempo y corriente de todos los dispositivos ajustables de protección deben ajustarse en el lugar de la instalación para coordinarse entre sí y con las

características no ajustables de tiempo y corriente determinadas. El dispositivo protector más próximo a la falla deberá operar primero. Si este dispositivo no operara, el siguiente dispositivo en dirección a la fuente de potencia debe operar y aislar el circuito.

Todo dispositivo protector debe ajustarse para operar con corrientes mínimas. Esto permitirá distinguir entre corrientes de fallas verdaderas y picos de corrientes de carga permisibles. Las acciones deben ocurrir en el menor tiempo posible mientras se mantenga la selectividad del sistema. Así, los dispositivos protectores sólo activarán el número mínimo de interruptores y fusibles conectados al elemento en falla.

Es un hecho, que los dispositivos quedan coordinados adecuadamente cuando se construye el sistema eléctrico. Sin embargo, si efectuamos cambios o modificaciones al sistema, aún por pequeños que parezcan, los dispositivos no permanecerán adecuadamente coordinados.

Para fines de coordinación, los fusibles se representan por dos curvas de tiempo y corriente: el punto mínimo de fusión y la interrupción máxima, graficados contra la corriente que puede fluir a través del fusible.

#### IV.4.2 RELACION TIEMPO-CORRIENTE EN EL FUSIBLE

Las relaciones entre el mínimo tiempo de fusión y el máximo tiempo de corte, son determinadas mediante pruebas de laboratorio y expresadas en forma de gráficas. La corriente se traza sobre el eje horizontal y el tiempo en el eje vertical sobre escala log-log.





Ambas curvas, la correspondiente al mínimo tiempo de fusión y el máximo tiempo de corte, herramientas esenciales para la adecuada aplicación de los listones fusibles en coordinación de sistemas.

Las normas EEI-NEMA de listones fusibles se dividen en dos tipos: listones rápidos y listones lentos y los designa por las letras "K" y "T" respectivamente.

La diferencia entre los dos tipos se basa en el rango de velocidad, lo que se define como la razón entre las corrientes de fusión para 0.1 seg y 300 seg, para rangos de listones que no sobrepasan los 100 Amp.

Para rangos de listones que si sobrepasan los 100 Amp, la razón es entre las corrientes de fusión para 0.1 y 600 seg.

Un elemento importante para la selección de cuchillas lo constituye la temperatura, ya que puede ser considerada la misma para todos los listones fusibles de un circuito común; las curvas de tiempo-corriente están basadas en pruebas de laboratorio llevadas a cabo con temperaturas ambiente de 20 a 30° C. Cuando la temperatura ambiente incrementa, el tiempo de fusión decrece y cuando la temperatura decrece, el tiempo de fusión se incrementa.

#### IV.4.3. COORDINACION FUSIBLE-FUSIBLE

Debe empezarse por la selección del fusible denominado "protección" que es el dispositivo que está protegiendo el equipo o equipos o que representa la carga, este fusible debe cumplir con dos finalidades.

a) Protección contra sobrecargas.

Aquí queda comprendido el caso de falla en el circuito secundario de un transformador protegido con fusibles, ya que representa la sobrecarga máxima que se puede presentar. Aunque es recomendable analizar la posibilidad de protección en el secundario.

b) Protección contra fallas en el equipo.

El fusible deberá coordinarse con el equipo que esté protegiendo ya que, de no ser así, se tiene sobrada la capacidad del equipo, o un envejecimiento prematuro del aislamiento, por lo que cada equipo deberá estar protegido con fusibles adecuados, no solo en cuanto a la corriente nominal de los mismos, también a las características que los definen.

Una vez hecha la selección se procede a coordinarlo con otro fusible denominado de "respaldo" que protegerá al llamado de "protección" y al circuito que lo alimenta y de esa manera se irán coordinando según se acercan a la subestación de distribución.

Una regla importante para la aplicación de la localización de los listones es que el tiempo máximo de corte del listón de "respaldo" no exceda en un 75% del tiempo mínimo de fusión del listón de "protección", de esta manera se asegura que el listón destinado como protección interrumpirá y limpiará la falla antes que el listón protegido esté dañado de cualquier forma. El factor de 75% considera las variables de operación tales como: temperatura ambiente, sobrecarga y calor o fusión.

Otro aspecto importante estriba en que la corriente de carga en el punto de aplicación, no deberá exceder a la capacidad de corriente constante del listón.

La coordinación de listones fusible puede establecerse por medio de las curvas de T-C o tablas de coordinación, dichas tablas están basadas en datos derivados de las curvas T-C, así que producen una coordinación con poco trabajo. Y es recomendable para coordinar rangos máximos de corriente de cortocircuito.

La capacidad de corriente continua es aproximadamente un 150% del rango para los listones tipo "T" y "K" con elemento fusible de estaño y 100% para los tipos "H", "N" y los listones de plata tipo "K".

A grandes rasgos podríamos resumir los pasos a seguir en una coordinación de protecciones como sigue:

1. Hacer el diagrama unifilar, indicando en él los datos del equipo principal: transformadores, generadores, alimentadores, motores, reactores, etc.
2. En otro diagrama sustituir los anteriores equipos por el diagrama de impedancias y demás componentes que contribuyen al incremento de corriente de corto-circuito.
3. Hacer un estudio de corto-circuito para determinar las corrientes de falla máxima de cualquier punto del sistema.
4. Preparar una gráfica tiempo-corriente sobre papel log-log, todas las corrientes estarán referidas a una base de

voltaje común, pudiéndose utilizar un factor de multiplicación si se considera necesario.

Preferiblemente hay que realizar un estudio de coordinación para cada ramal que alimente un centro de control de motores (CCNO), o a un motor grande.

#### IV.4.4. CRECIMIENTO DE LA CARGA INSTALADA

Tenemos una carga creciente de acuerdo con el avance de la excavación como anteriormente se ha explicado. Así pues, se hace necesario exponer en detalle el diagrama unifilar propuesto, en cuanto a cargas variables se refiere.

En el capítulo II se explicó que al iniciar la excavación y durante los primeros 50 metros el proceso es lento debido al hecho de que debe de ir siendo introducido todo el tren de arrastre, para lo cual en un principio el escudo trabaja con un alimentador provisional formado por un transformador de 300 KVA, 23000/220 V y conductor con la longitud suficiente para cubrir dicha distancia.

Al término de los 50 metros excavados es intercambiado el anterior transformador por uno de 500 KVA 23000/2300 V, en cuyo secundario se instala un interruptor en aire para baja tensión de cuya salida se tiende una línea sobre bastidores con aisladores de porcelana a lo largo de los 50 m; en este último extremo se introducirá en los trucks un tramo normalizado de aproximadamente 300 metros de conductor para dar un avance más rápido al escudo.

Al llegar al anillo número 200 se empezarán a tener problemas según cálculos con el envío de lodo de descarga hacia la superficie, por lo cual es necesario regresar al anillo 50 donde de la línea de 2300 V se obtiene un alimentador a través de un transformador de 50 KVA 2300/440 V para una primera bomba de traspaleo que incrementará la energía del lodo para poder ser descargada al cárcamo respectivo. Así, sucesivamente cada 200 m se irá instalando una bomba de las mismas características hasta llegar al anillo 1850 donde será instalada la última bomba.

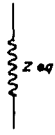
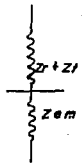
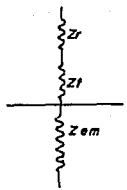
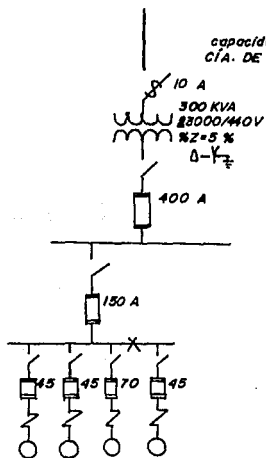
Del mismo modo los ventiladores son instalados en un diferente circuito cada 400 metros, es decir el primer grupo de ventiladores es instalado en el anillo 400, pues como se explicó en capítulos anteriores los primeros 400 metros de ventilación se obtienen de ventiladores instalados en la lumbrera. Los ventiladores instalados en túnel no son permanentes pues irán siendo movidos, pues la finalidad de ellos es ventilar solo el frente de excavación.

También cada 400 metros el mismo alimentador es empleado para alumbrado a fin de energizar 100 aparatos de alumbrado.

#### IV.4.5. MEMORIA DE CALCULO DE LA COORDINACION

Siguiendo los pasos anteriormente señalados, a continuación se proporciona separadamente los diagramas unifilares, es decir por secciones a fin de poder anotar las características principales del equipo evitando con ello un solo plano de grandes dimensiones.

capacidad interruptiva  
C.A. DE LUZ 1000 MVA



El anterior diagrama unifilar y de impedancias corresponde al CCM de los cárcamos; emplearemos para el análisis de corto-circuito un método sencillo a fin de evitar un cálculo demasiado extenso, es decir que no tomaremos en cuenta el efecto resistivo sino únicamente las reactivancias subtransitorias de los equipos, pues en fallas severas es la empleada para efectos de cálculo sin que por ello cometamos errores que puedan ser considerables.

Obteniendo las impedancias correspondientes:

$$Z_r = \frac{KVAbase \times 100}{KVAreg}$$

$Z_r$  = Impedancia de la red

$KVAbase$  = Potencia base

$KVAreg$  = Capacidad interruptiva proporcionada por Cía. de Luz

$$Z_r = \frac{300 \times 100}{1000000} = 0.03\%$$

De tablas de datos para grupos de motores de inducción:

$$Z_{em} = 25\%$$

$$Z_r + Z_l = 0.03 + 5 = 5.03\%$$

$$Z_{eq} = (Z_r + Z_l) \parallel Z_{em}$$

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{5.03} + \frac{1}{25}} = 4.10\%$$



$$I_{ccsim} = \frac{100 \text{ KVAbase}}{Z_{eq} \% \sqrt{3} \text{ KV}}$$

$I_{ccsim}$  = Corriente de corto-circuito simétrica

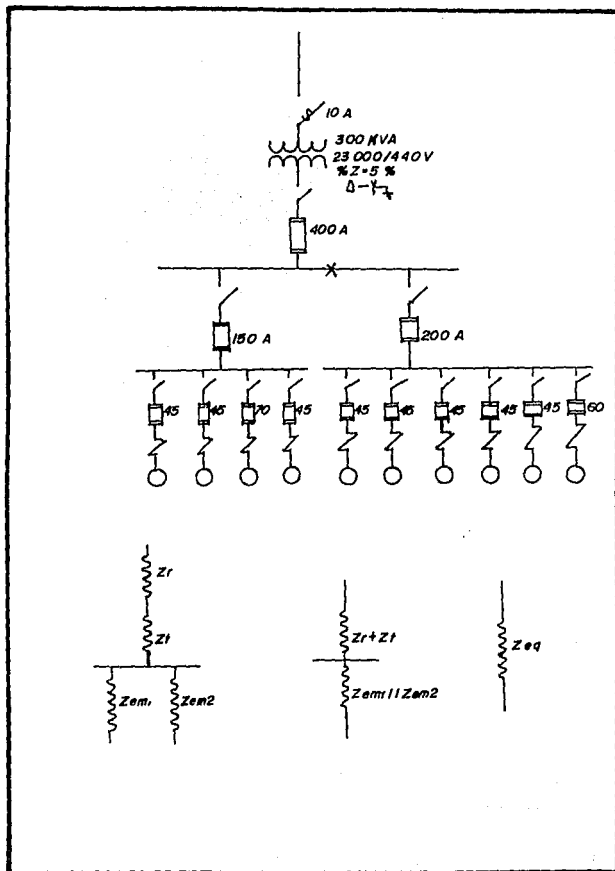
$Z_{eq}$  = Impedancia equivalente al punto de corto-circuito

$$I_{ccsim} = \frac{100 \times 300}{4.10 \sqrt{3} \times 0.44} = 0,304.04 \text{ Amp}$$

De tablas, observamos un factor de asimetría de 1, así la corriente de corto-circuito asimétrica es igual.

Así, para una falla en el punto anterior el fusible debe seleccionarse de 150 Amp y debe ser capaz de soportar 10,000 Amp a una tensión de 440 V.

Ahora para una falla en el siguiente punto:



Del anterior cálculo sabemos que:

$$Z_r + Z_l = 5.03\%$$

$$Z_{em1} || Z_{em2} = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{1}{25}} = 12.5\%$$

$$Z_{eq} = (Z_r + Z_l) || (Z_{em1} || Z_{em2})$$

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{5.03} + \frac{1}{12.5}} = 3.69\%$$

$$I_{ccalm} = \frac{100 \times 300}{3.69 \sqrt{0.44}} = 10,085 \text{ Amp}$$

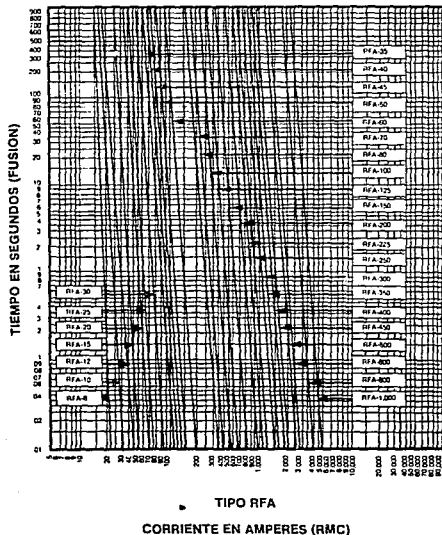
Deberemos elegir un fusible que soporte dicha corriente, así como el correspondiente interruptor.

El transformador tendrá un punto ANSI:

$$11.6 I_n = 11.6 \times 7.63 = 87.348 \text{ Amp} \quad 3 \text{ seg}$$

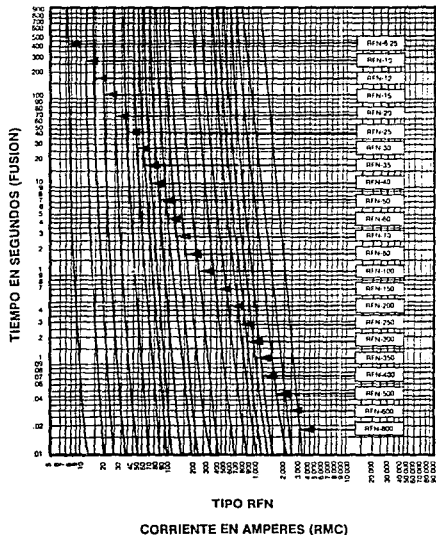
y un punto INRUSH:

$$8 I_n = 8 \times 7.63 = 60.24 \text{ Amp} \quad 0.1 \text{ seg}$$



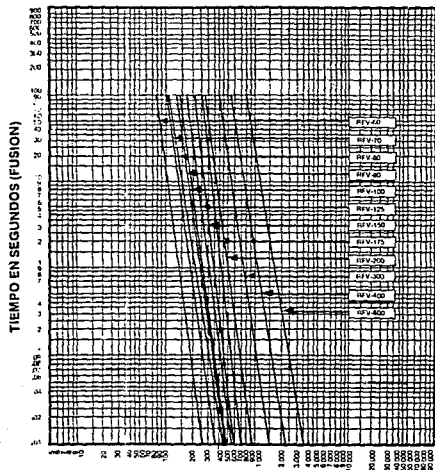
Curvas Tiempo Corriente (130 Volts RMS)

FUSIBLE 8-1000



Curvas Tiempo Corriente (250 Volts RMS)

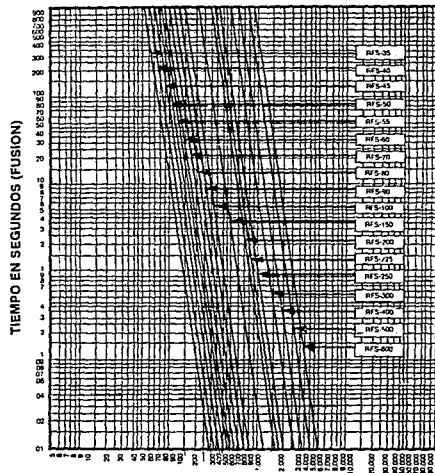
FUSIBLE 6.25-800



TIPO RFV  
CORRIENTE EN AMPERES (RMC)

**Curvas Tiempo Corriente (500 Volts RMS)**

FUSIBLE 60-6000



TIPO RFS  
CORRIENTE EN AMPERES (RMC)

**Curvas Tiempo Corriente (600 Volts RMS)**

FUSIBLE 35-6000

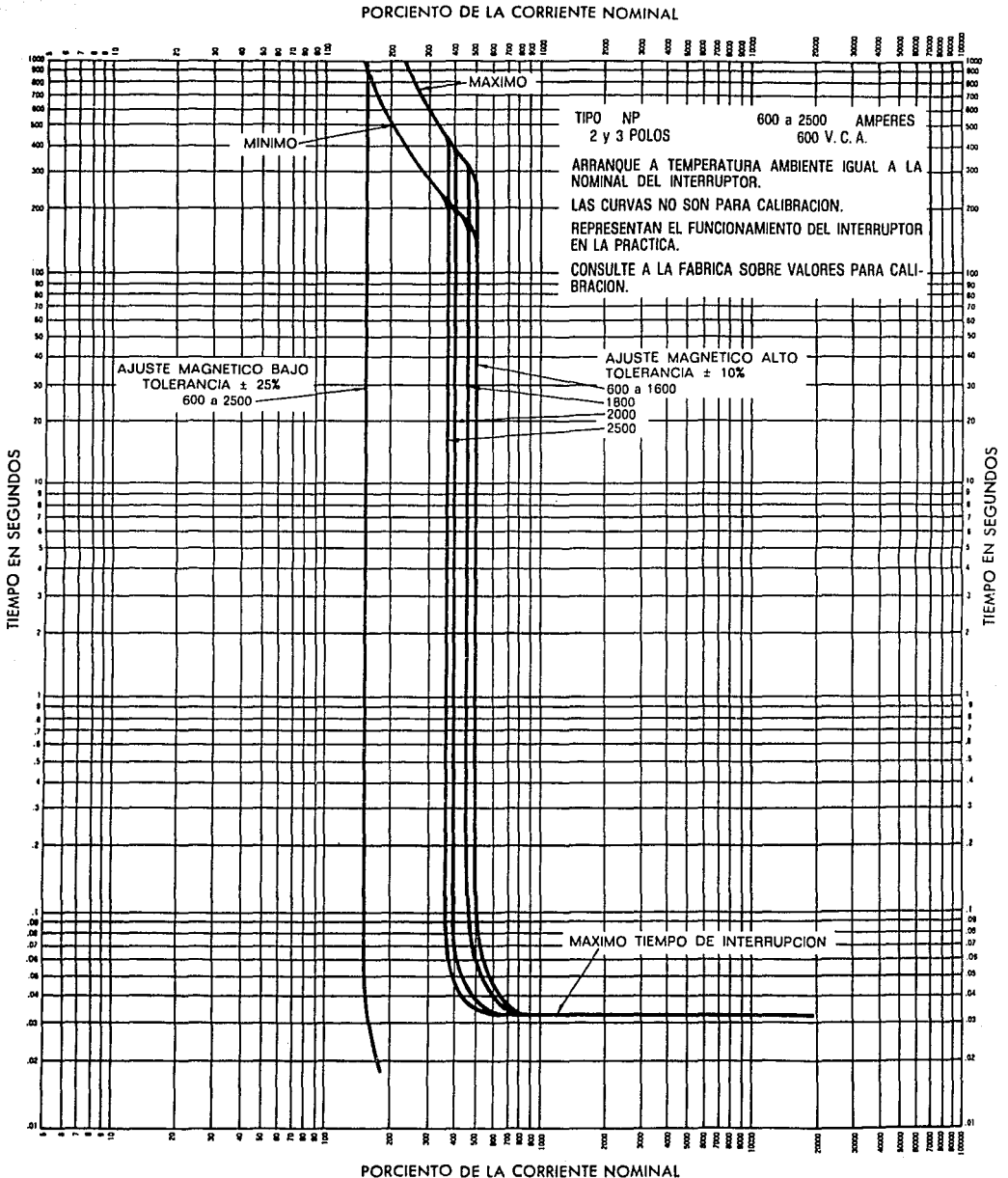


# Interruptores Termomagnéticos en caja moldeada

CLASE 1410-1420

## CURVA CARACTERISTICA DE DISPARO

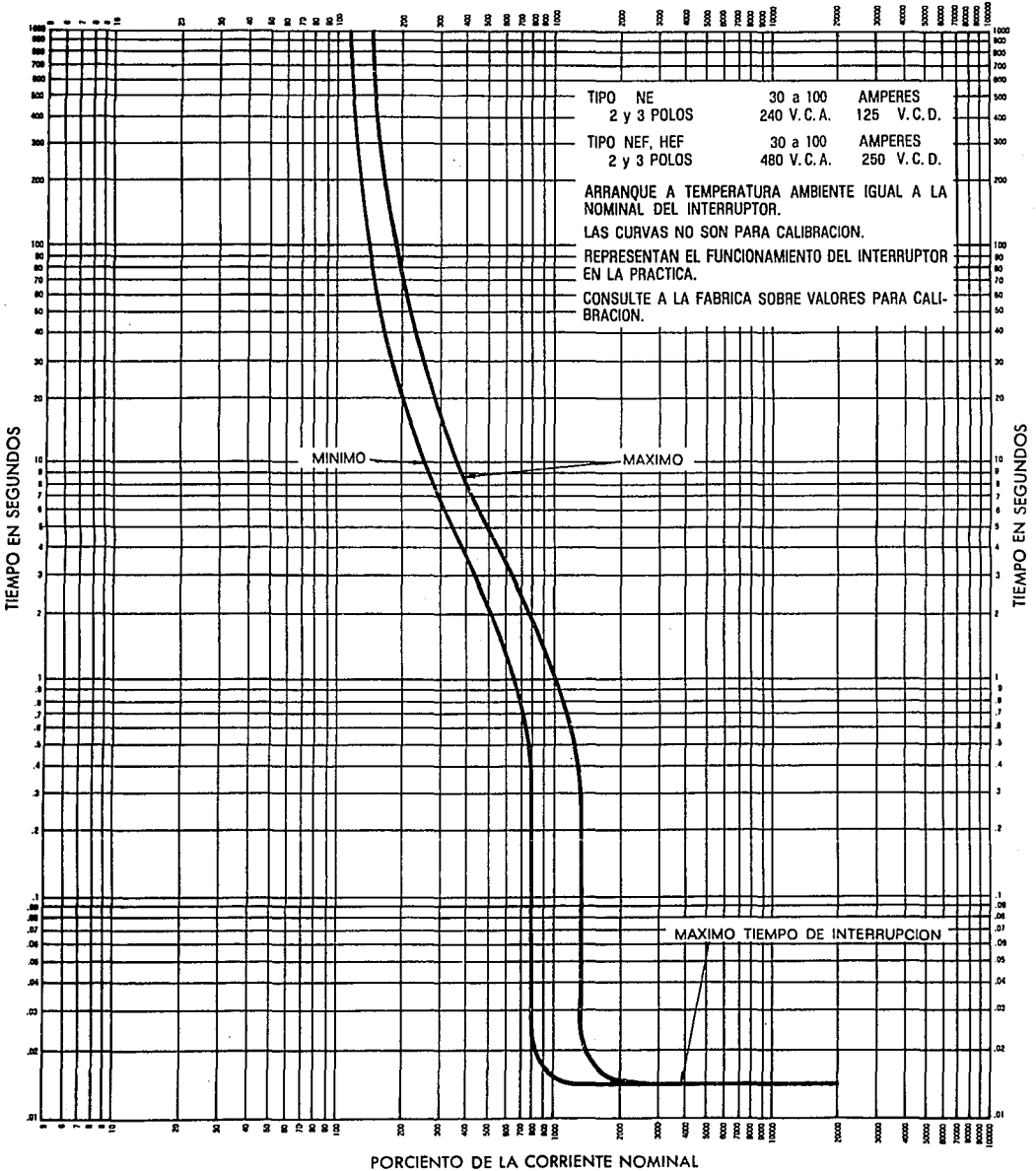
Marco: NP



## CURVA CARACTERISTICA DE DISPARO

Marco: E, EF

PORCIENTO DE LA CORRIENTE NOMINAL





Para la elaboración del plano de coordinación recurrimos a las anteriores gráficas T - C y con ayuda de ellas obtenemos los siguientes puntos para ser graficados :

FUSIBLE 45 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
450	80
150	90
10	140
4	150
2	175

FUSIBLE 150 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
500	240
350	250
100	300
40	400
3	500

FUSIBLE 400 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
150	900
70	950
30	1000
2	1500

Como el fusible de 10 Amp. esta en una diferente base de voltaje, se procede a referir sus corrientes empleando la siguiente fórmula :

$$I_a = \frac{V_n}{V_a} \times I_n$$

donde

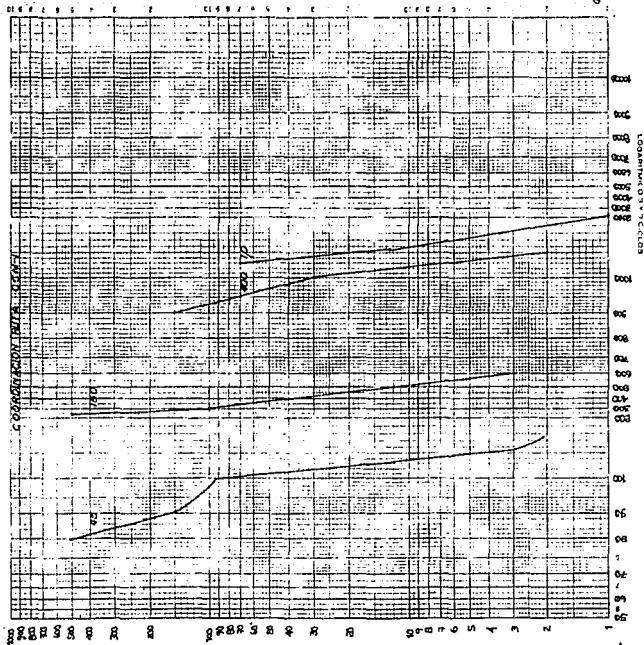
$I_a$  : Corriente referida  
 $V_n$  : Voltaje nominal  
 $V_b$  : Voltaje base  
 $I_n$  : Corriente nominal

TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)	$I_a$ (Amp)
70	25	1306.82
12.5	30	1568.18
3.5	35	1829.54
1.0	45	2352.27

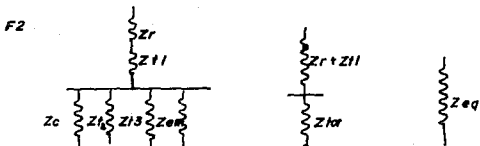
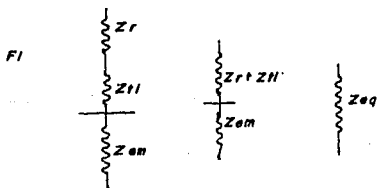
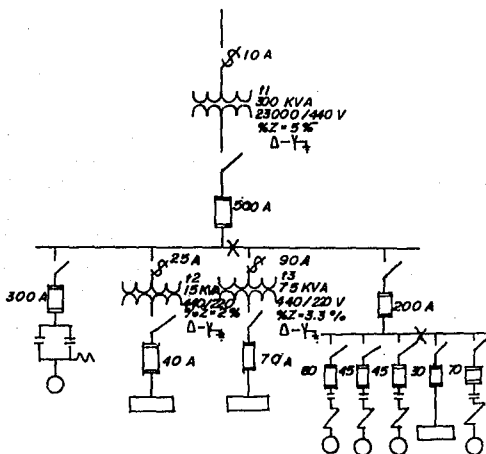
ANSI = 4565.92 Amp.

INRUSH = 3148.90 Amp.

El correspondiente plano de coordinación es:



Cargas (Carg.)



El anterior diagrama unifilar y de impedancias corresponde al alimentador: superficie, alumbrado y compresor.

Dado que tenemos un transformador de similares características al anterior, para una falla en el punto mencionado y dado que manejamos la misma base, tendremos un valor de corriente de corto-circuito similar al primero que fue de aproximadamente 9.4 KAm.

Así, que el fusible de 200 Amp debe elegirse para soportar 10,000 Amp.

Pero ahora, para una falla en F2 tendremos un valor completamente diferente.

Como tenemos que cambiar de base la impedancia de los transformadores:

$$Z_{base2} = \frac{KVA_{base2} \times Z_t}{KVA_t}$$

$$Z_{base2T2} = \frac{300 \times 2}{15} = 40\%$$

$$Z_{base2T1} = \frac{300 \times 3.3}{75} = 13.2\%$$

$$Z_{tot} = Z_{c1} || Z_{r2} || Z_{s1} || Z_m$$

$$Z_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{1}{40} + \frac{1}{13.2} + \frac{1}{25}} = 5.63\%$$

$$Z_{eq} = (Z_r + Z_{t1}) || Z_{tot}$$

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{5.08} + \frac{1}{5.59}} = 2.63\%$$

$$I_{ccsim} = \frac{100 \times 300}{2.48 \sqrt{0.44}} = 14,067.6 \text{ Amp}$$

Debe elegirse un fusible de 500 Amp pero que soporte 15,000 Amp.

El punto ANSI e INRUSH serán 87.35Amp 3seg y 60.24 Amp 0.1 seg respectivamente.

Para la ruta de coordinación CCM los puntos a graficar serán :

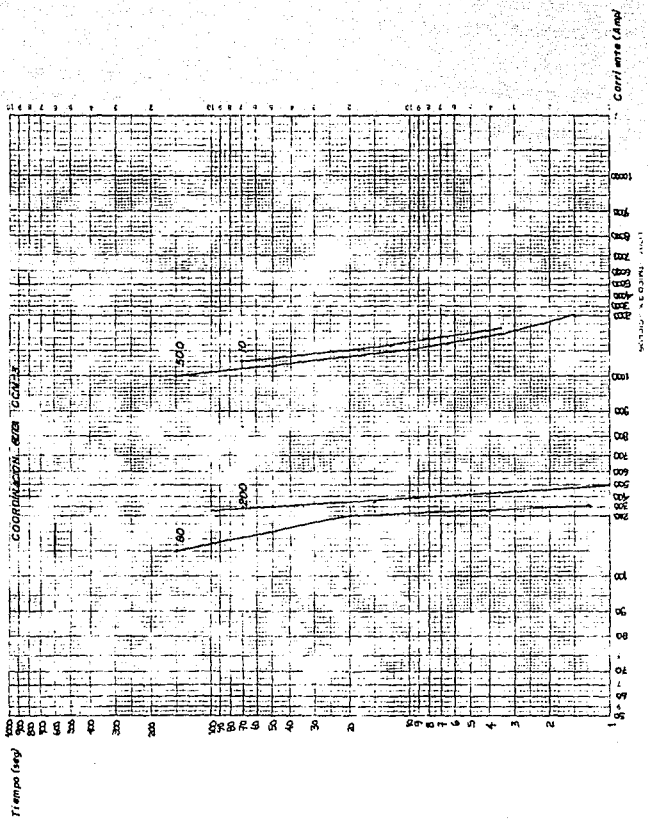
FUSIBLE 80 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
150	150
20	200
4	250
1.25	300

FUSIBLE 200 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
50	300
15	350
6	400
1	500

FUSIBLE 500 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
150	1000
10	1500
3.5	1750
1.5	2000

FUSIBLE 10 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
70	1308.82
12.5	1558.18
3.5	1829.54
1.0	2352.27

y el correspondiente plano de coordinación :





Para la ruta de coordinación transformador T3 tendremos los puntos siguientes eligiendo una base de voltaje de 440 V :

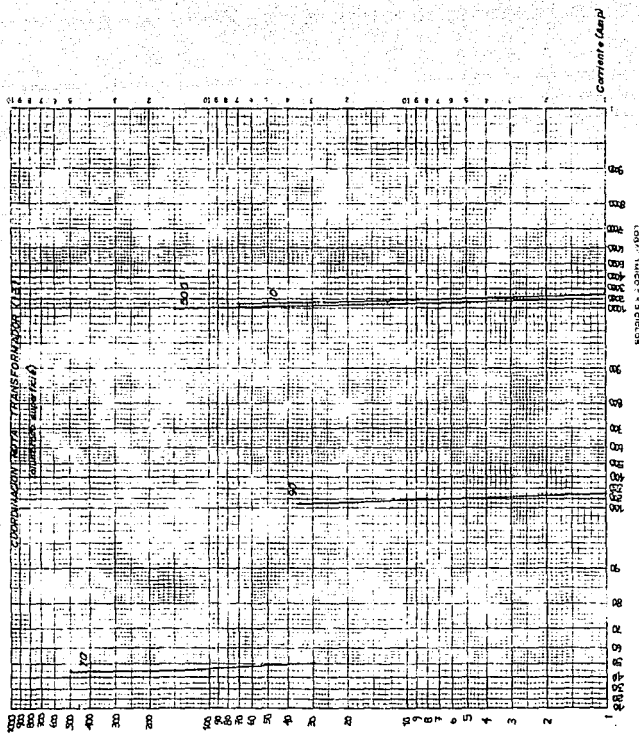
TIEMPO (seg)	FUSIBLE 70 Amp. CORRIENTE (Amp)	I <sub>R</sub> (Amp)
500	90	45
150	90	45
30	100	50

	FUSIBLE 90 Amp.
35	150
5	200
0.8	250

	FUSIBLE 500 Amp.
150	1000
10	1500
3.5	1750
1.5	2000

	FUSIBLE 10 Amp.
70	1306.82
12.5	1568.18
3.5	1829.54
1.0	2352.27

Quedando el plano de coordinación :



CONVERSION TABLE TRANSFORMER (1:1)  
CURRENTS (Amp)

Tiempo (seg)

SCALE: 1.0001 (100)

Para la ruta de coordinación transformador T2 con una base de voltaje de 440 V

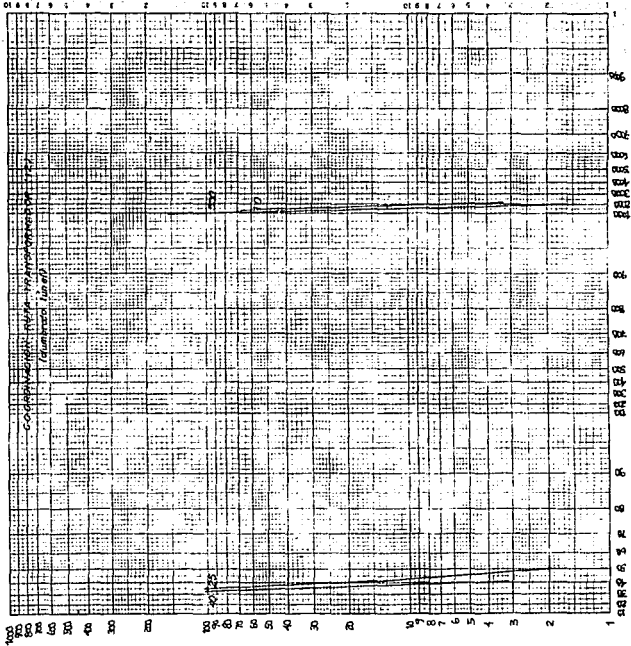
TIEMPO (seg)	FUSIBLE 40 Amp. CORRIENTE (Amp)	I <sub>a</sub> (Amp)
100	65	32.5
35	70	35
4	80	40

	FUSIBLE 25 Amp.
100	35
15	40
2	50

	FUSIBLE 500 Amp.
150	1000
10	1500
3.8	1750
1.8	2000

	FUSIBLE 10 Amp.
70	1308.82
12.5	1568.18
3.5	1829.54
1.0	2352.27

y el plano de coordinación :



Tempo (seg)

Corrente (amp)

ACTUAL EXPERIMENT

Calculations of the experiment  
 (Theoretical curve)

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10

Para la ruta de coordinación compresor tendremos :

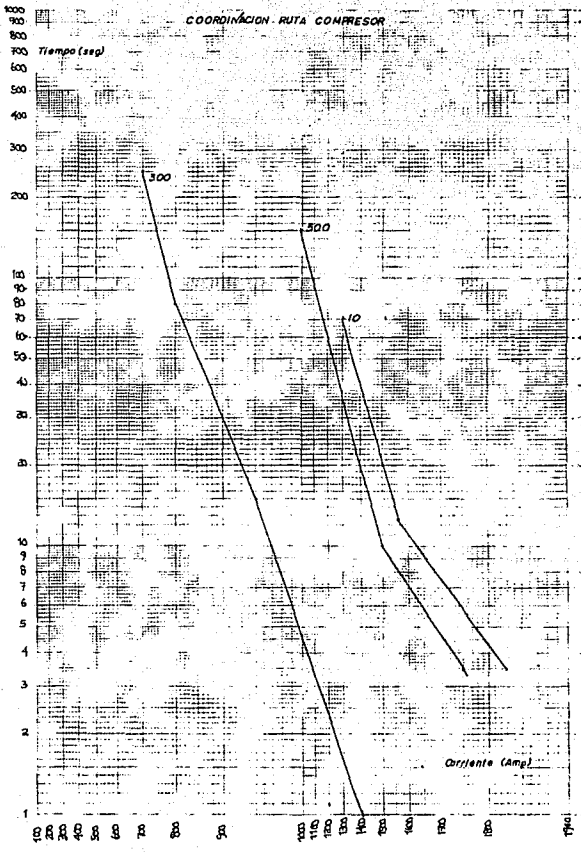
FUSIBLE 300 Amp.	
TIEMPO (seg)	CORRIENTE (Amp)
250	700
80	800
15	950
1	1400

FUSIBLE 500 Amp.	
150	1000
10	1500
3.5	1750
1.5	2000

FUSIBLE 10 Amp.	
70	1306.82
12.5	1568.18
3.5	1829.54
1.0	2352.27

El plano de coordinación :

COARINCO 2 x 3 110 01



Para el alimentador del escudo, alumbrado y traspaleo, en la línea provisional para la excavación de los primeros 50 m tenemos un transformador de similares características con la excepción de la tensión secundaria, ya que solo en este caso el transformador del escudo es desconectado del mismo y el de 300 KVA 23000/220 V es conectado al truck de interruptores del escudo, por tanto el único equipo a proteger en este caso es el primario del transformador del cual ya sabemos que:

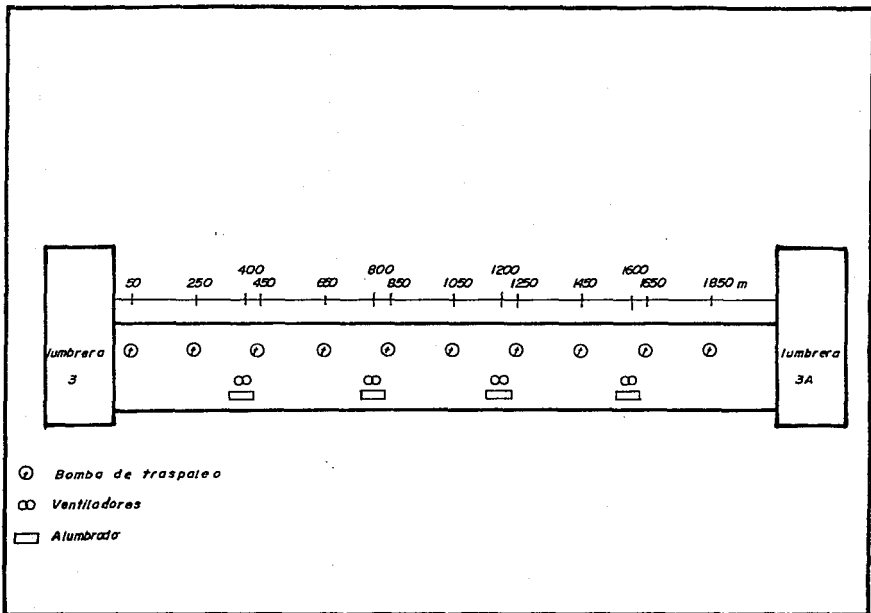
$$I_n = 7.53 \text{ Amp}$$

$$I_{fus} = 1.4 \times 7.53 = 10.54 \text{ Amp}$$

Valor comercial 10 Amp

Para el alimentador del escudo a partir de los primeros 50 m excavados; tomando en cuenta que en los primeros 400 m tendremos alumbrado de otro circuito así como también ventilación.

En el siguiente diagrama de la longitud del túnel se observa la disposición de las bombas de traspaleo así como la ubicación de los circuitos derivados para alumbrado y ventilación:

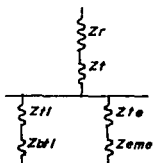




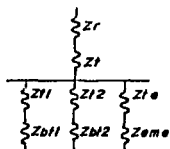
Como se irán instalando subestaciones secundarias en la longitud del túnel con la única variante que los ventiladores irán siendo movidos de lugar, pues como se mencionó no en todo el túnel se tiene ventilación, únicamente para el frente de excavación. Entonces es en este punto donde al ser movidos los ventiladores se retira el circuito derivado para ventilación quedando solamente el de alumbrado.

A continuación se muestran los diagramas de impedancias según el crecimiento de la carga, así como también el cálculo del incremento de la corriente de corto-circuito. Además de los planos de coordinación para las 3 rutas que manejaremos.

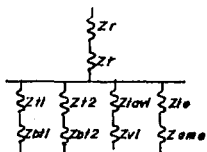
DEL ANILLO 50 AL 249



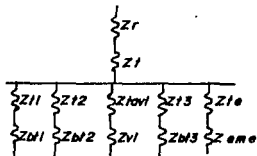
DEL 250 AL 399



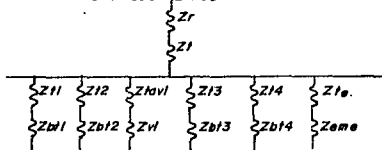
DEL 400 AL 449



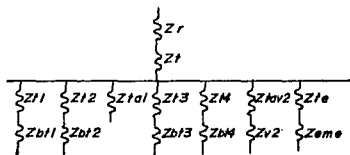
DEL 450 AL 649



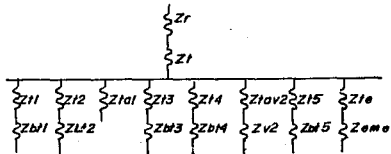
DEL 650 AL 799



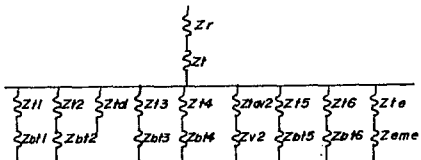
DEL 800 AL 849



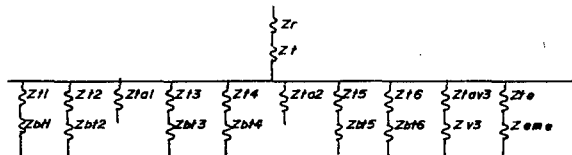
DEL 850 AL 1049



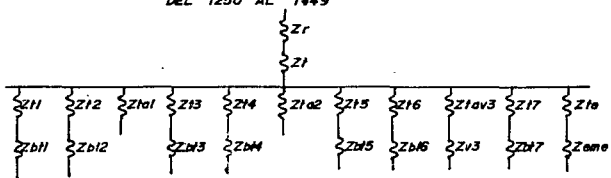
DEL 1050 AL 1199



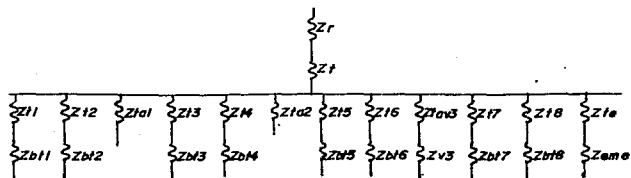
DEL 1200 AL 1249



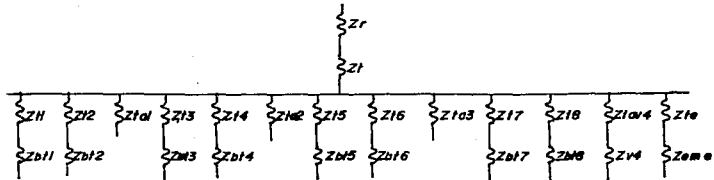
DEL 1250 AL 1449



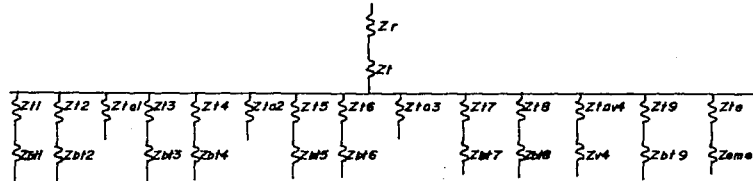
DEL 1450 AL 1599



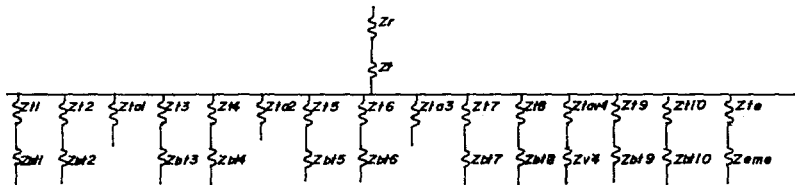
DEL 1600 AL 1649



DEL 1650 AL 1849



DEL 1850 EN ADELANTE



A continuación se muestran los valores de corto-circuito tabulados a fin de evitar un cálculo tedioso y repetitivo, dichos valores se mantienen en el tramo del túnel señalado y como puede observarse tenemos un crecimiento el cual deberá soportar el fusible limitador de corriente instalado en el interruptor en aire.

Tramo de tunel (Canillo a anillo)	Corriente de corto-circuito simétrica (Amp)
50 al 249	2859.02
250 al 399	2898.64
400 al 449	2960.18
450 al 549	3000.00
550 al 799	3039.00
800 al 849	3505.89
850 al 1049	3548.51
1050 al 1199	3586.00
1200 al 1249	4053.97
1250 al 1449	4092.30
1450 al 1599	4130.00
1600 al 1649	4564.03
1650 al 1849	4597.47
1850 en adelante	4631.40

Para la ruta de coordinación alumbrado-ventilación  
tendremos las siguientes gráficas:

BASE 2300 Volts

Fusible 125 Amp

Tiempo (seg)	Corriente (Amp)	I <sub>a</sub>
200	200	19.13
15	250	23.91
2	300	28.69

Fusible 200 Amp

200	250	23.91
20	300	28.69
6	400	38.26
2	500	47.83

Fusible 25 Amp

60	60	
12.5	70	
3.5	80	
1.3	100	

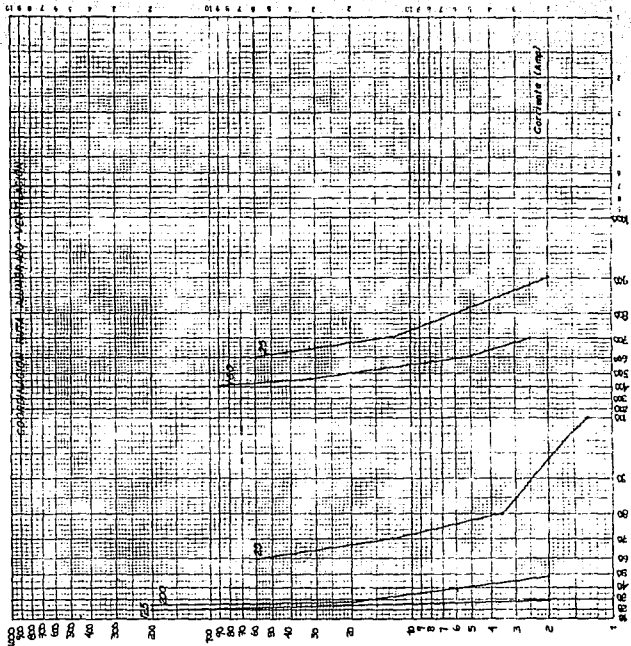
Fusible 160 Amp

90	400	
35	450	
5	600	
2.5	700	

Fusible 25 Amp

60	60	600
12.5	70	700
2	90	900





Tiempo (seg)

Corriente (Amp)

UNIVERSIDAD NACIONAL

Para la ruta de coordinación escudo:

Interruptor termomagnético 1200 Amp

MINIMO		
Tiempo (seg)	Corriente (Amp)	Ia
500	2400	230
270	3600	344
150	6000	578
100	6000	578
20	6000	578
2	6000	578
MAXIMO		
600	3600	344
400	4800	460
200	6000	578
100	6000	578
10	6000	578

Fusible 125 Amp

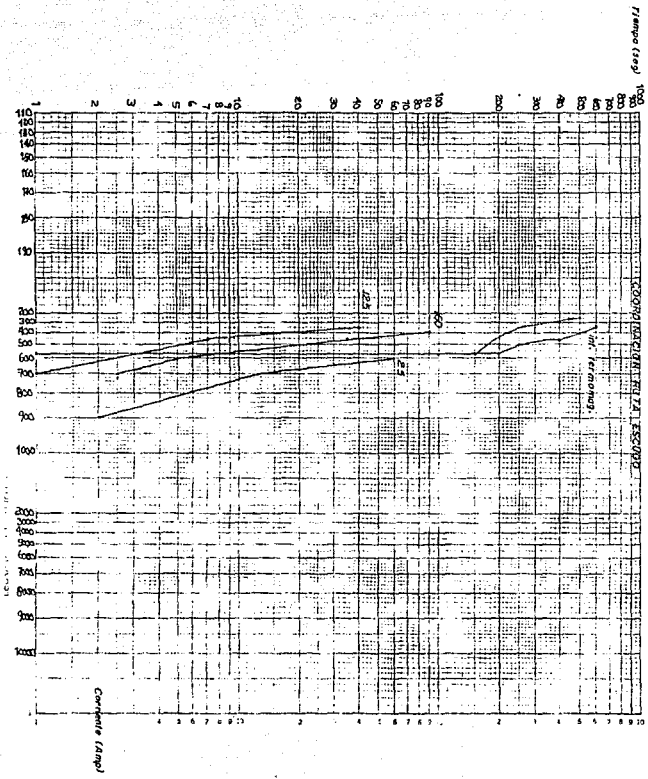
40	350
15	400
7	450
1	700

Fusible 160 Amp

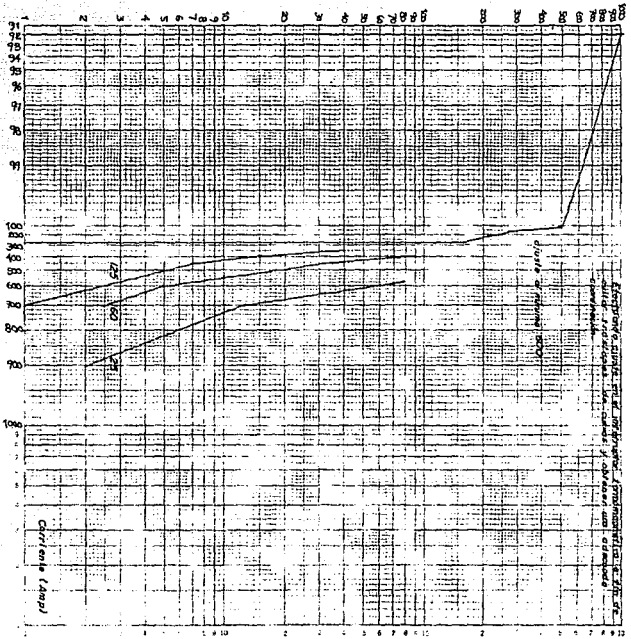
90	400
35	450
5	600
2.5	700

Fusible 25 Amp

60	60	600
12.5	70	700
2	90	900



Time (sec)



Para la ruta de coordinación traspaleo:

Interruptor termomagnético 70 Amp

Tiempo (seg)	MINIMO	
	Corriente (Amp)	I <sub>n</sub>
90	105	20.1
20	140	26.8
7	210	40.2
2	350	67
	MAXIMO	
1000	105	20.1
70	140	26.8
8	280	53.56
5	350	67
2	560	107
1	700	134

Fusible 18 Amp

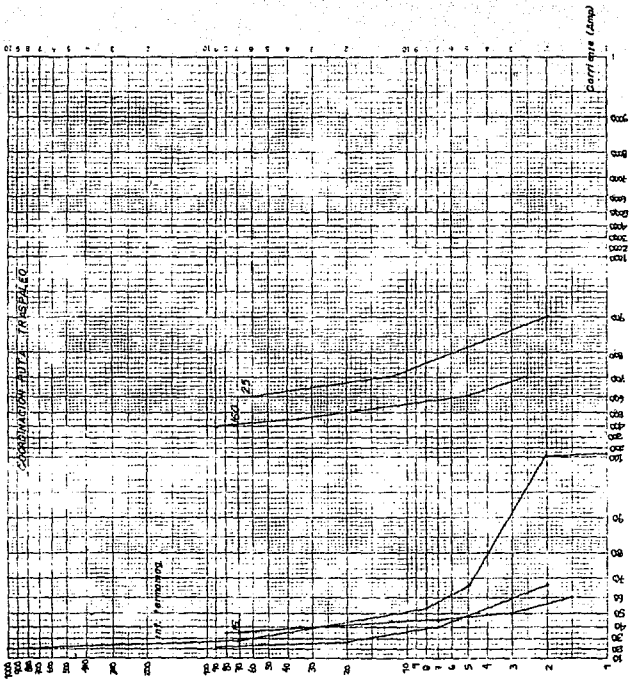
80	38
35	40
7	45
3	50
1.5	60

Fusible 180 Amp

90	400
35	450
8	600
2.5	700

Fusible 25 Amp

60	60	600
12.5	70	700
2	90	900

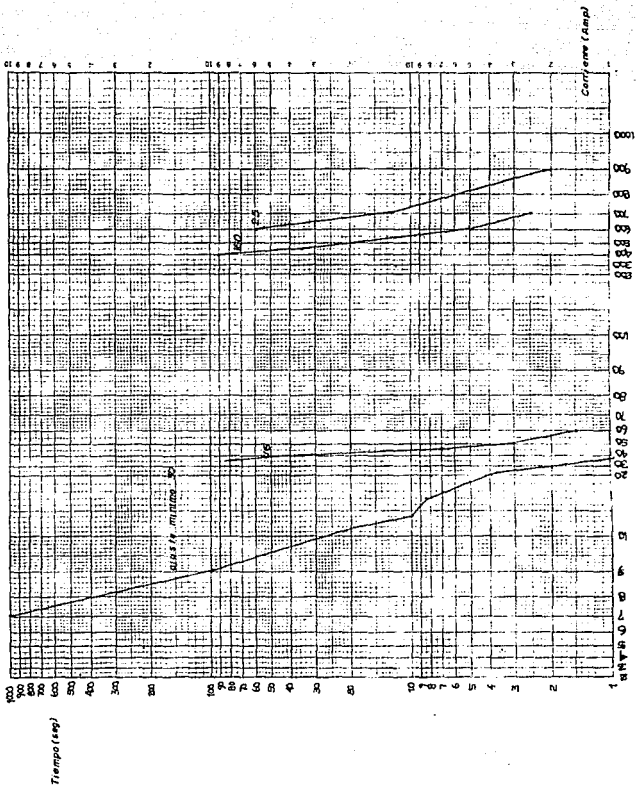


Tiempo (seg)

Corriente (amp)

LOGARITMICO - LINEAL

CARBONATION - PITA - TRASPALCO



**V. RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTACION DE UN  
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**



## **CONTENIDO**

### **V.1 ANTECEDENTES**

#### **V.2 PRUEBAS DE CAMPO PARA CABLES AISLADORES DE ALTA TENSION**

##### **V.2.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO**

##### **V.2.2 PRUEBA PARA CABLES DE ALTA TENSION**

### **V.3 SELECCION Y MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA ELECTRICA**

## V.1 ANTECEDENTES

Durante el ejercicio profesional dentro de la compañía constructora me pude percatar de la falta de un adecuado programa de mantenimiento al equipo eléctrico que no está directamente relacionado con el escudo excavador, pues sin duda este último es el único que lo recibe por razones obvias, por lo cual se da una importancia secundaria a otros equipos que no lo son en realidad.

A continuación doy algunas sugerencias basándome en instructivos y algunas obras que tratan el tema con amplitud a fin de obtener una vida útil sino prolongada por lo menos promedio de nuestro equipo eléctrico.

Todo equipo eléctrico dentro de una instalación juega un papel importante, por lo cual no podemos afirmar cual lo es más y en base a eso supervisar más su funcionamiento, es por eso que para dar un mantenimiento no podemos decir con cual se tiene que iniciar, pero es cierto que de acuerdo a las condiciones en las que trabajamos, tenemos que comenzar con lo que puede desmontarse a primera mano al terminarse la excavación entre lumbrera y lumbrera.

Siguiendo este criterio, sabemos que para extraer el escudo de la lumbrera es necesario desenergizarlo y desconectarlo de la línea de 2300 volts; así en primera instancia se puede girar orden de extraer los conductores de dicha línea y empezar a trabajar en ellos dando simplemente una inspección visual.

Para un adecuado manejo en la recuperación del cable y dadas las longitudes que manejamos es conveniente concentrarlo en los carretes donde lo proporcionan los fabricantes.

El mantenimiento aplicable a un conductor que es recuperado se reduce a una revisión del aislamiento, pues como más adelante se menciona, es hasta que se instala y antes de ser energizado cuando se llevan a cabo determinadas pruebas con equipo de corriente directa.

Las normas de construcción de canalizaciones eléctricas subterráneas de PEMEX establecen que en la instalación de conductores, éstos deberán ser de una sola pieza; en nuestro caso esto es algo imposible por la razón de la longitud del túnel, por lo cual debe tratarse de emplear longitudes de conductor lo más largas posibles a fin de tener un mínimo de empalmes.

Dichas normas también establecen que los empalmes o derivaciones deberán alojarse en registros o cajas de paso de conexiones; esto también nos es difícil dado que tenemos un espacio reducido y lo más importante que no podemos fracturar las dovelas para instalar registros. Tales empalmes deberán ser hechos con el mayor cuidado y quedar bien aislados pues tampoco podemos introducirlos en tuberías, además deben soportar determinado esfuerzo de tensión ya que son fijados en bastidores a todo lo largo del túnel.

El equipo para tensar conductores puede ser:

- (1) Malla de acero "calcetín" sobre la cubierta
- (2) Perno u ojo de tracción
- (3) Combinación de los dos anteriores



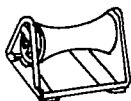
*Malta de acero "calcetín"*



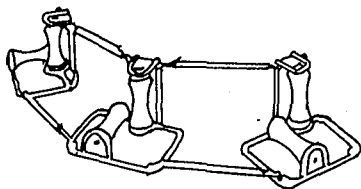
*Perno u ojo de tracción*



*Dispositivo para evitar efectos de torsión*



*Rodillo para tender cable*



*Rodillos para instalar cables con cambios de dirección*

Cualquiera que sea el dispositivo empleado debe complementarse con otro que evite efectos de torsión.

Existe un límite de tensión mecánica que puede aplicarse a un conductor, este valor depende del calibre de éste, a continuación se da una tabla al respecto:

#### CONDUCTORES DE COBRE

SECCION mm <sup>2</sup> (CS)	CALIBRE AW O MCM	T en Kg t=75°C
1.3	16	9
2	14	14
3	12	23
5	10	37
8	8	59
13	6	93
21	4	148
34	2	235
54	1/0	374
67	2/0	472
85	3/0	595
107	4/0	750
127	250	886
162	300	1064
178	350	1241
203	400	1419
253	500	1773
380	750	2680

Para evitar sobrepasar el valor antes mencionado es conveniente emplear un dinamómetro al realizar la maniobra.

## V.2 PRUEBAS DE CAMPO PARA CABLES AISLADORES DE ALTA TENSION

### V.2.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Con esta prueba se obtiene una idea clara de las condiciones en las cuales se encuentra el cable y sus conexiones (empalmes y terminales). Antes de llevar a cabo la prueba el cable debe estar desconectado de todo tipo de equipo eléctrico y se calculará primero analíticamente la resistencia de aislamiento (R) mediante:

$$R = K \text{ Log } \frac{D}{d}$$

R = Resistencia de aislamiento en megohms/Km

K = Constante de resistencia de aislamiento

D = Diámetro medido hasta el interior de la pantalla metálica en mm.

d = Diámetro medido hasta el exterior de la cinta semiconductor en mm.

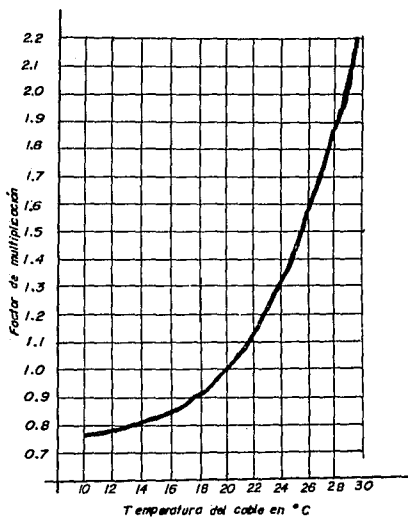
Una vez obtenido el valor R debe ser corregido por longitud y temperatura empleando para ello las siguientes tablas.

Para ejemplificar este cálculo, lo podemos aplicar cuando vamos a introducir un primer tramo a los "trucks" de aproximadamente 300 m; así, tenemos que manejamos conductor calibre # 2 AWG para 5000 Volts con aislamiento de polietileno vulcanizado. (El calibre del conductor fue el empleado en el último tramo L-2 a L-3)

## CONSTANTE DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

AISLAMIENTO	K (Mo/Km)
Papel impregnado	3000 a 20°C
PVC bajo voltaje	150 a 15.6°C
PVC alto voltaje	750 a 20°C
Polietileno	15250 a 15.6°C
Polietileno vulcanizado	6100 a 15.6°C
Cambray barnizado	1000 a 15.6°C
Etileno propileno	6100 a 15.6°C

*Factores de corrección por temperatura para resistencia de aislamiento en cables con aislamiento de papel impregnado y PVC de alto voltaje*





De la primera tabla obtenemos:

$$K = 6,100 \text{ Megaohms/Km a } 15.8^{\circ} \text{ C}$$

De datos de fabricante:

$$D = 17 \text{ mm y } d = 7 \text{ mm}$$

$$R = 6,100 \text{ Log } \frac{17}{7} = 2,350.64 \text{ Megaohms/Km}$$

El valor anterior se tiene para una temperatura de  $20^{\circ}$  C y un factor de corrección por longitud 1000/1. Si modificamos la temperatura a  $28^{\circ}$  C.

Consultando la segunda tabla tendremos un factor de corrección de 1.87, entonces ahora:

$$R = 6,100 \text{ Log } \frac{17}{7} \times 1.87 \times \frac{1000}{300} = 14,652.32 \text{ Megaohms}$$

Ahora, se procede a hacer la prueba práctica con la ayuda de un megger manual o con motor acoplado. La terminal positiva (+) deberá conectarse al conductor y la terminal negativa (-) a la pantalla metálica del cable, que también debe estar conectada a tierra.

Bajo estas condiciones el cable se encuentra operando como condensador y debe energizarse durante cierto tiempo dependiendo esto de su longitud. Al termino de la prueba es conveniente tomar la temperatura del cable y hacer la corrección correspondiente con ayuda de la siguiente tabla.

FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA PARA LA  
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES CON  
AISLAMIENTO DE CAMBRAY BARNIZADO.

TEMPERATURA GRADOS C	FACTOR DE MULTIPLICACION
1	0.56
2	0.56
3	0.57
4	0.58
5	0.59
6	0.60
7	0.62
8	0.64
9	0.66
10	0.69
11	0.72
12	0.72
13	0.81
14	0.87
15	0.95
15.5	1.0
16	1.1
17	1.3
18	1.5
19	1.7
20	2.0
21	2.3
22	2.7
23	3.1
24	3.6
25	4.3
26	4.9
27	5.7
28	6.6
29	7.7
30	9.0
31	10.0
32	12.0
33	14.0
34	16.0
35	19.0

Cabe hacer la aclaración que cuando tenemos cables nuevos, los valores obtenidos suelen resultar mayores que los calculados, por tanto el cable se halla dentro de los límites de seguridad. Cuando se trata de cables con más de cinco años de servicio los valores resultan menores que los obtenidos por cálculo, en cuyo caso no es conveniente aplicar una prueba de alta tensión, pero podemos darnos una idea en que límite está ese conductor.

En el caso en el que tengamos un cable con un valor aceptable de R y una longevidad menor a 5 años, podemos aplicar la prueba de alta tensión.

## V.22 PRUEBA PARA CABLES DE ALTA TENSION

Esta prueba arroja datos que indican si un cable se encuentra en condiciones de operar satisfactoriamente. Consiste en aplicar alta tensión de corriente directa entre el conductor y su pantalla metálica. Se debe aplicar gradualmente en incrementos de 10 KV. También debe registrarse la corriente de fuga (corriente que fluye a través del aislamiento), dicho valor es del rango de microamperes. Cuando se alcanza el valor de la tensión de prueba, la corriente de fuga debe registrarse a los 0, 1, 3, 5, 10 y 15 minutos y con tales valores se grafica la curva correspondiente (corriente de fuga v.s. tiempo en minutos). Los valores de alta tensión de c.d. para los diferentes casos se indican en la siguiente tabla.

Al término de la prueba, la alta tensión se llevará gradualmente a cero; una vez en este punto se desconectará la fuente de energía y el cable se aterrizará por un tiempo no menor a una hora, con el objeto de eliminar la corriente de

## PRUEBAS DE CAMPO DURANTE Y DESPUES DE LA INSTALACION

TIPO DE CABLE: Cables de energía con aislamiento de polietileno, polietileno vulcanizado y etileno propileno.

VOLTAJE KV 100% Nivel Aislamiento	CALIBRE AWG o MCM
2001 - 5000	8 - 1000
5001 - 8000	8 - 1000
8001 - 15000	2 - 1000
15001 - 25000	1 - 1000
25001 - 35000	1 - 1000
28001 - 35000	1/0 - 1000

carga y la polarización del aislamiento. Si el resultado de la prueba es satisfactorio, entonces el cable está listo para entrar en servicio.

Para el adecuado funcionamiento de cables de energía, es recomendable aplicar la prueba de alta tensión en tres épocas principales:

1. Prueba de aceptación o de recepción.

Esta prueba se hace a cables nuevos después de instalados pero antes de energizarlos.

2. Prueba dentro del período de garantía.

Es aquella que es hecha un año después de haber adquirido el cable, lo cual no implica que tenga un año operando pero sí ha sido energizado y ha operado durante un cierto tiempo.

3. Prueba de cables "viejos".

En promedio un cable de energía para alta tensión tiene una vida útil del orden de los 30 años; y se considera un cable viejo (para efectos de pruebas) todo aquel que lleva más de un año en operación.

### V.3 SELECCION Y MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA ELECTRICA

En capítulos anteriores mencioné algunas clasificaciones en cuanto a motores se refiere, en este capítulo sólo hago notar como una mala selección puede acarreararnos problemas tales como paros inesperados del equipo, pérdidas irreparables en el equipo con la consecuente pérdida económica. Mostraré con ejemplos como una buena selección y un mantenimiento adecuado puede conducir a la prolongación de la vida útil en un equipo eléctrico.

Los motores son generalmente clasificados en términos de su salida en caballos de potencia (H.P.), en una velocidad específica y su voltaje aplicado.

También la temperatura de operación de cualquier máquina afecta su vida útil, así como algunos otros factores. Como se ha dicho anteriormente los motores (ya sean de corriente alterna o de corriente directa) están clasificados en términos de su capacidad de salida. Cuando las máquinas eléctricas son operadas bajo estas condiciones de datos de placa, implicará que el aumento de temperatura no será excesivo y que no habrá sobrecalentamiento.

El equipo eléctrico específicamente los motores están diseñados para sostener sobrecargas temporales, pero existen consumidores quienes, por razones de economía adquieren un motor de menor capacidad que la carga que van a manejar continuamente, corriendo el riesgo de adquirir un producto que (1) entregará una velocidad a determinada carga pero no la misma en una sobrecarga, (2) un sobrecalentamiento dañino y como resultado una vida útil más corta, y (3) operará con una

cierta baja eficiencia en el sobrecalentamiento por el resto de su vida útil. El costo inicial más bajo se verá convertido en un deficiente y más caro funcionamiento y aunado un reemplazo más temprano.

Así, se comprende que los datos de placa de maquinaria eléctrica rotatoria nos proveen de cierta información esencial referida a la vida útil de la máquina. La mayoría de los datos de placa muestran aumento de temperatura permitido, ciclo de trabajo, voltaje, corriente, velocidad, frecuencia y capacidad de salida.

En ocasiones suele darse el caso que no toda la información aparezca en la placa de datos, pero puede solicitarse al fabricante alguna publicación donde aparezcan tales datos que son de suma importancia para el ingeniero de diseño. Algunos de los datos que deberán aparecer se listan a continuación:

1. Tipo de motor
2. Tamaño de armazón
3. Encapsulado
4. Número de fases
5. Salida en caballos de potencia
6. Frecuencia
7. Velocidad
8. Voltaje
9. Corriente
10. Incremento de temperatura permitido
11. Ciclo de trabajo
12. Letra de clase de aislamiento del devanado
13. Letra de clase de diseño

14. Letra de código del rotor
15. Protección térmica
16. Factor de servicio
17. Número de identificación del fabricante
18. Número del modelo del fabricante

Como se mencionó al principio la temperatura es uno de los factores que puede afectar seriamente a una máquina rotatoria, a continuación se explicará por qué.

Todo aislamiento de maquinaria es probado en la base de un incremento de temperatura arriba de  $40^{\circ}\text{C}$ . Por ejemplo, un motor operando en un área confinada cerca de un equipo de alta temperatura (caldera o calentador) puede experimentar una temperatura ambiente de  $60^{\circ}\text{C}$ . Esta diferencia de  $20^{\circ}\text{C}$  es permitida y materialmente no afecta la vida útil del motor.

Algunos motores sólo muestran un incremento permitido de  $40^{\circ}\text{C}$  en su placa de datos. Tales motores así clasificados deben ser capaces de soportar sobrecargas momentáneas de 150% mientras éstas no ocurran frecuentemente dentro de un periodo de 30 minutos. Además, deben ser capaces de soportar una sobrecarga del 115% cuando operan a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ , su voltaje y corriente nominales. Este factor de 115% es llamado el factor de servicio.

En cuanto al límite de temperatura de materiales aislantes, empíricamente se ha probado que por cada incremento de  $10^{\circ}\text{C}$  en la temperatura límite de operación de un motor trabajando continuamente su vida útil se reduce a la mitad. Contrariamente, por cada reducción de  $10^{\circ}\text{C}$  en la temperatura límite, la vida del devanado se duplica.



**Table 13-1 Limiting Temperatures of Insulating Materials**

Description of Material	Insulation Class	Allowable Temperature Rise for 40 °C Standard Temperature	Hottest-Spot Maximum Limiting Temperature
Cotton, silk, paper, or other <i>organic</i> materials neither impregnated nor immersed in liquid insulation.	0	50 °C	90 °C
Any of the above <i>organic</i> materials impregnated or coated with liquid dielectrics or enamels or varnishes or films of <i>organic</i> cellulose acetate or similar resins.	A	65 °C	105 °C
Mica, asbestos, fiberglass, or other <i>inorganic</i> minerals with a small proportion of Class A materials as binders and fillers.	B	90 °C	130 °C
Materials or combinations of same such as mica, glass fiber, or asbestos with suitable bonding substances that can be shown to have comparable thermal life at temperatures up to 155 °F.	F	115 °C	155 °C
Combinations of such <i>inorganic</i> materials as silicone elastomer, mica, glass fiber, asbestos, etc., with suitable binders such as silicone resins, as well as other materials having a comparable thermal life up to 180 °C.	H	140 °C	180 °C
Materials or combinations of materials that by accepted tests can be shown to have a thermal life of up to 200 °C.	N	160 °C	200 °C
Materials or combinations that can be shown to have a thermal life of up to 220 °C.	R	180 °C	220 °C
Materials or combinations that can be shown to have a thermal life of up to 240 °C.	S	200 °C	240 °C
Materials or combinations that can be shown to have a thermal life of more than 240 °C. Such materials currently include mica, porcelain, glass, quartz, and similar <i>inorganic</i> material in <i>pure</i> form (glass wool, spun tapes, etc.).	C	No limit selected	

A continuación se muestra una tabla que muestra las temperaturas límite de materiales aislantes.

Podemos asumir que el promedio de vida de un motor trabajando dentro de su límite de temperatura es de 10 años. Es posible aún predecir la reducción (R) en la vida de un motor que excede el límite de temperatura, y aún más la extensión (E) de la vida de motores que operan por abajo de la temperatura límite.

Se ha obtenido una relación para el cálculo de ambos R y E para un motor de temperatura ambiente 40°C. Tal ecuación muestra la relación exponencial empírica para tal cálculo:

$$E \text{ ó } R = 2^{(\Delta T/10^\circ)}$$

$\Delta T$  = La diferencia de temperatura positiva (+) entre el máximo de temperatura del aislamiento y la temperatura registrada o grabada.

Ejemplos:

1. Un motor empleando aislamiento clase A es continuamente operado por seis horas a carga nominal en un ambiente de temperatura elevada en la que sus detectores empotrados graban una temperatura de 125°C. Calcular el factor de reducción de vida y la vida útil esperada de dicho motor. (Asumir un standard de vida de 10 años).

Solución:

De la tabla de temperaturas límite obtenemos que para aislamiento clase A tenemos un máximo de 105°C. Por tanto:

$$R = 2^{(125-105)/10} = 4$$

La vida esperada del motor será:

$$\text{Vidacalc} = \frac{\text{Vidaorig}}{R} = \frac{10\text{años}}{4} = 2.5 \text{ años}$$

2. Repetir el ejemplo anterior para el mismo motor cuando sus detectores continuamente graban una temperatura máxima de 75°C. Calcular el factor de extensión y el incremento de vida útil esperado del motor.

$$E = 2^{(105-75)/10} = 8$$

$$\text{Vidacalc} = \text{Vidaorig} \times E = 10 \times 8 = 80 \text{ años}$$

En los ejemplos anteriores podemos observar como un motor, dependiendo que tan adecuadamente se haga su selección se acorta o alarga su vida útil. Es claro que si damos un cierto rango de holgura en los valores de capacidad y características que manejaremos, nuestro equipo eléctrico (motores) nos proporcionará más que un satisfactorio ciclo de vida útil. Si a esto aunamos un mantenimiento preventivo y una buena técnica de inspección, es obvio que tendremos un servicio continuo y confiable que difícilmente se verá afectado, salvo por factores externos al equipo.

Podemos decir que al tratarse de máquinas de tipo inducción bastará con marcar una lubricación periódica. Cuando se trate de equipos con auto-lubricación no será necesario hacerlo, ya que una excesiva lubricación es exactamente igual a una insuficiente lubricación.

Es también importante señalar que en el montaje inicial de un motor eléctrico se tenga cuidado, pues un desalineamiento en la flecha puede afectar seriamente la orientación del motor.

Como hemos visto la mayoría de los tipos de maquinaria eléctrica requiere un mínimo de mantenimiento confinado únicamente a lubricación. Pero algunos tipos de motores como monofásicos o fraccionarios, están equipados con interruptores centrífugos, los cuales pueden ser una fuente de problemas que pueden dañar al motor seriamente. Por ejemplo, un mecanismo de interruptor centrífugo "trabado en su posición de marcha", el motor fallará al arrancar. Si el mecanismo del interruptor está "trabado en su posición de arranque", el devanado de arranque se sobrecalentará y el motor no alcanzará su velocidad. Tales contactos deberán ser reemplazados y no reparados.

En algunos casos es preferible el reemplazo de un motor quemado que su rebobinado, principalmente en el caso de motores pequeños.

Debido a que el mantenimiento de motores está confinado a una rutina de lubricación, la inspección llega a jugar un papel importante en la prolongación de la vida de la maquinaria. Podemos tanto llevar a cabo una inspección

Table 13-4 Reference Guide to Probable Causes of Motor Troubles

MOTOR TYPE SYMPTOM OR TROUBLE	AC SINGLE PHASE				AC	BRUSH-TYPE
	SPLIT-PHASE	CAPACITOR	CAPACITOR	SHADED- POLE	POLYPHASE	(UNIVERSAL
		START	START AND RUN		(TWO OR THREE PHASE)	SERIES, SHUNT, OR COMPOUND)
PROBABLE CAUSES						
Will not start	1, 2, 3, 5	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 4, 7, 17	1, 2, 7, 16, 17	1, 2, 9	1, 2, 12, 13
Will not always start, even with no load, but will run in either direction when started manually	3, 5	3, 4, 5	4, 9		9	
Starts, but heats rapidly	6, 8	6, 8	4, 8	8	8	8
Starts, but runs too hot	8	8	4, 8	8	8	8
Will not start, but will run in either direction when started manually—overheats	3, 5, 8	3, 4, 5, 8	4, 8, 9		8, 9	
Sluggish—sparks severely at the brushes						10, 11, 12, 13, 14
Abnormally high speed—sparks severely at the brushes						15
Reduction in power—motor gets too hot	8, 16, 17	8, 16, 17	8, 16, 17	8, 16, 17	8, 16, 17	13, 16, 17
Motor blows fuses, or will not stop when switch is turned to off position	8, 18	8, 18	8, 18	8, 18	8, 18	18, 19
Jerky operation—severe vibration						10, 11, 12, 13, 19

- Open in connection to line.
- Open circuit in motor winding.
- Contacts of centrifugal switch not closed.
- Defective capacitor
- Starting winding open
- Centrifugal starting switch not opening
- Motor overloaded.

- Winding short-circuited or grounded.
- One or more windings open.
- High mica between commutator bars.
- Dirty commutator or commutator is out of round.
- Worn brushes and/or annealed brush springs.
- Open circuit or short circuit in the armature winding

- Oil-soaked brushes.
- Open circuit in shunt winding.
- Sticky or tight bearings.
- Interference between stationary and rotating members.
- Grounded near switch end of winding.
- Shorted or grounded armature winding.

empírica únicamente empleando cuatro de nuestros sentidos: vista, oído, tacto y olor; o si se quiere empleando termómetros, detectores de vibración, etc. El fin es el mismo, detectar una falla a tiempo con el objeto de evitar un paro indeseable en un futuro no muy lejano.

Otro tipo importante de maquinaria eléctrica lo constituye los transformadores eléctricos, tales aparatos no requieren un mantenimiento especial, mejor dicho es conveniente una supervisión a fin de checar la temperatura del aceite así como su nivel, esto debido a que no son transportados para una ubicación definitiva, ya que son transportados de obra en obra y en diferentes colectores, pues son propiedad de la D.G.C.O.H. (D.D.F.) el cual los proporciona a la compañía constructora que los solicite para llevar a cabo la excavación correspondiente. Por lo cual siendo éstos objeto de constante transportación pueden llegar a averiarse, por lo cual es conveniente su revisión con objeto de detectar fugas de aceite o fracturas en las uniones que puedan ocasionar el paso de aire al interior.

En el caso que se haga necesario reponer el nivel de aceite, deberá hacerse teniendo cuidado de no introducir objetos o permitir que caigan en el interior del tanque, además de comprobar la calidad del aceite, pues como es sabido es especial (aceite mineral secado y purificado de azufre, resina, etc.) con una baja temperatura de congelación, una temperatura de inflamabilidad de sus vapores muy alta, etc.

Si nos encontramos ante la necesidad de tener que cambiar la totalidad del aceite a un transformador o simplemente checarlo, podemos hacer una prueba a una muestra

de él y así tener la completa seguridad de su estado. La prueba de la rigidez dieléctrica del aceite se hace de la siguiente manera: se aplica una tensión determinada entre dos esferas de 12.5 mm de diámetro, con separación de 5 mm sumergidas en la muestra. La descarga deberá hacerse en el rango de 40,000 a 50,000 volts, si el aceite no resiste la tensión, entonces habrá que regenerarlo.

Lo anteriormente explicado es aplicable a transformadores eléctricos sumergidos en aceite. Cabe mencionar también que dentro de la supervisión puede sugerirse checar la tensión en el lado secundario. Esto sin duda debe ser checado por el ingeniero electricista de la obra al ser entregada la subestación, antes de ser energizado cualquier equipo; de esta manera pueden detectarse fallas en los taps o en el cambiador de derivaciones.

En el interior del túnel tenemos una variante, ya que el transformador que alimenta el escudo es del tipo seco por cuestiones de diseño, en él se tienen que cuidar algunos otros aspectos, así como también requiere de una supervisión más periódica; aunque el mantenimiento de él queda a cargo de la compañía fabricante, pues es el único transformador perteneciente a la compañía constructora. Por lo cual la supervisión constará de checar los indicadores de voltaje y humedad relativa; esta última variable es imprescindible mantenerla en un punto, pues dadas las condiciones en el interior del túnel nunca deberá permanecer este transformador desenergizado.

En cuanto a equipo de protección (interruptores, arrancadores, etc.) es conveniente tener algunos repuestos en

el almacén, pues en ocasiones suele ser necesario el reemplazo debido a accidentes que sufren tales equipos; no en todos los casos se tiene que optar por desechar un equipo, bastará con enviarse al taller de mantenimiento eléctrico para su reparación y en el caso como el de ensuciamiento debido a contacto con el equipo de inyección de concreto, deberá aplicarse una limpieza de partes completa a base de solvente dieléctrico, y en el caso de requerir el reemplazo de piezas, los fabricantes proporcionan un número de pieza a cada parte de sus equipos, mismo que el almacén deberá requerir a proveedores para tener cierta cantidad disponible.

Otro equipo que requiere de constante supervisión y mantenimiento son las luminarias tanto del interior del túnel como del exterior a la lumbrera, debido al ensuciamiento por el contacto con equipo que lleva a cabo la inyección de concreto. A este respecto recomendaría tener una buena cantidad, pues como en el cálculo que se hizo de L-3 a L-3A se tiene que son necesarios 500 aparatos de alumbrado, pero tiene que tomarse en cuenta que los del tramo anterior L-2 a L-3 deben ser retiradas pero no antes de que se comience el revestimiento definitivo. Si dichos aparatos de alumbrado han de volverse a emplear, antes deberán pasar por el taller de mantenimiento para ser limpiados, cambiar contactos o balastos si es necesario y por separado concentrar los tubos fluorescentes para su revisión uno por uno a fin de desechar los que fallen o que definitivamente no sirven. Es también conveniente tener en el almacén una buena cantidad de tubos pues su reemplazo es algo muy normal.

Las anteriores recomendaciones espero sirvan de ayuda para la creación de un programa de mantenimiento que en



realidad se lleve a cabo, esto no quiere decir que nunca se dió mantenimiento a equipo, sino que pienso que puede ayudar mucho a llevarlo a cabo de una manera más técnica a como se venía haciendo; incluso algunas de las pruebas a equipo jamás se han contemplado.

## CONCLUSIONES

Al inicio del presente trabajo se mencionó que el propósito de él era proponerlo como proyecto de instalación a seguir, desafortunadamente debió haberse propuesto antes de iniciarse la excavación, pues como se mencionó con anterioridad existe otro que es con el que se ha venido trabajando pero que dadas las características de la lumbrera y el túnel a que está referido este trabajo resulta inaplicable aquel proyecto. Con esto no quiero decir que la instalación eléctrica llegará a un punto donde sea un problema grave, ya que antes de abandonar el ejercicio profesional dentro de esta obra pude llevar a cabo algunos cálculos y propuse algunos cambios al proyecto con el que se trabajaba, por lo cual pienso que al comparar ambos proyectos elaborados por mí habría que realizar algunos cambios con respecto al primero, pues fue elaborado en un tiempo relativamente corto como para hacer un adecuado cálculo de protecciones y hacer tener una instalación donde se procure una selectividad, por tanto los cambios a los que me refiero ayudarían a que en un futuro no se tuvieran problemas con el suministro de energía a los equipos, por tanto pienso que el objetivo de esta tesis se cumple y que el proyecto puede ser aplicable a esta lumbrera o a otra de similares características en la cual se vaya a iniciar la excavación.

El presente trabajo prevee un crecimiento aún con la totalidad del equipo trabajando, algunos equipos con respecto al proyecto original han sido omitidos pues resultan sobrantes o ya no se requieren, esta decisión provino de consulta con ingenieros que diseñaron la máquina excavadora y algunos otros que están directamente relacionados con el equipo y tienen amplia experiencia en excavaciones como esta.

## BIBLIOGRAFIA

Okumura Corporation, Planning and execution of Slurry Shield Tunnel, Japan, 1985.

D.D.F., Dirección General de Obras Hidráulicas, Interceptores Profundos y el Emisor Central, México, 1989.

D.D.F., Memorias de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, tomos I y II, México.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, 2a ed., México, 1990.

Kosow, Irving L., Electric Machinery and Transformers, 2a ed., E.U., Prentice Hall, 1991.

Pansini, Anthony J., Electrical Distribution Engineering, 1a ed., Singapore, Mc Graw Hill, 1986, 436 p.

Lazar, Irwin, Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants, 1a ed, 1980, 209 p.

Ramírez Vázquez, José, Sistemas de Iluminación Proyectos de Alumbrado, 4a ed, España, Ediciones CEAC, 1987, 226 p.

Enriquez Harper, Gilberto, Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica, Vol.II, México, Limusa, 1983, 827 p.

Castelfranchi, Giuseppe, Instalaciones Eléctricas, 4a ed., España, Gustavo Gili, 1976, 419 p.

Camarena M., Pedro, Instalaciones Eléctricas Industriales, 10a ed., México, CECOSA, 1990, 307 p.

Enriquez Harper, Gilberto, ABC de Instalaciones Eléctricas Industriales, 1a ed., México, Limusa, 1988, 580 p.

Ramírez V., José y Sánchez M., Rafael, Instalaciones de Baja Tensión Cálculo de Líneas Eléctricas, 7a ed., España, Ediciones CEAC, 1990.