

---

Facultad de Ingeniería

## Diseño de la Subestación Alimentadora No. 2 de Ciudad Universitaria

T E S I S

Que para obtener el título de :

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a :

RODOLFO CORDOVA GASPAR

*ENRIQUE CISNEROS SEDANO.*

Director: Ing. Antonio Macías De Mier

---

México, D. F.

1984





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## I N D I C E

DISEÑO DE LA SUBESTACION ALIMENTADORA

Nº 2 DE CIUDAD UNIVERSITARIA

CAPITULO 1	INTRODUCCION
CAPITULO 2	ANALISIS DE CORTO CIRCUITO
CAPITULO 3	PROTECCION
CAPITULO 4	SISTEMA DE TIERRAS
CAPITULO 5	CALCULO DEL SISTEMA ALUMBRADO
CAPITULO 6	DESCRIPCION DEL EQUIPO
CAPITULO 7	CONCLUSIONES

## CAPITULO 1.- INTRODUCCION

### ANTECEDENTES GENERALES

La creación de la Subestación N° 2, es obligada por la saturación de la Subestación N° 1.

En virtud de constantes aumentos de institutos, facultades, centros de investigación; en el año 1976, la Subestación N° 1 fue afectada en su capacidad, ya que sus transformadores originales dieron paso a dos de mayor capacidad, para poder absorber la carga excedente y quedar con un margen de reserva para futuras ampliaciones.

La decisión de cambiar los Transformadores que eran de 2,500 KVA por dos de 7,500 KVA, ayudaron a resolver la situación en ese momento presentada.

En el año de 1981, con la ampliación del circuito exterior y el constante crecimiento de la Ciudad Universitaria, se presenta una nueva saturación de la Subestación N° 1, prevista para fines de 1983, y el problema de la carga que absorbe. Debido a lo anterior, se realizaron estudios con el fin de analizar los siguientes puntos:

- 1.- Continuidad
- 2.- Seguridad
- 3.- Confiabilidad
- 4.- Tiempo de Operación
- 5.- Accesibilidad
- 6.- Aspecto económico

Considerando los puntos anteriores, se optó por la creación de una nueva Subestación.

SUBESTACION N° 2.- Esta subestación es formada a partir de los transformadores retirados de la Subestación N° 1, los que se encuentran en perfecto estado, tanto en el embobinado, como en el aspecto operación como son: taps, alarmas, protecciones, enfriadores medidores de nivel de aceite, de voltaje amperaje, etc.

La operación de los tres Transformadores de 2,500 KVA se rá de la forma siguiente; dos de ellos en operación constante con uno de reserva o respaldo en caso de falla, mantenimiento o inspección y prueba de alguno de los otros dos transformadores.

En los estudios previos se denota el constante crecimiento de la Ciudad Universitaria, es por eso que el diseño de la

Subestación N° 2, ve incluido este punto, con la creación de obra civil y la estructura necesaria para alojar en un futuro próximo un nuevo transformador, con lo cual la capacidad se verá aumentada en un 50%, absorbiendo con esto mayor carga.

CARGAS QUE ALIMENTAR.-

A continuación se dan los diferentes edificios e instituciones con sus respectivas cargas, las cuales cubrirá la Subestación N° 2.

	SUBESTACION N° 2	KVA
1	UNIVERSIDAD ABIERTA	300
2	CENTRO DE INSTRUMENTOS	700
3	FACULTAD DE CIENCIAS	700
4	FACULTAD DE CIENCIAS	700
5	CENTRO DE MATERIALES	300
6	INSTITUTO DE QUIMICA	500
7	SUBEST. CENTRAL DERIVADORA	400
8	SERVICIOS COMUNES	700
9	INSTITUTO DE FISICA	1,350
10	CIENCIAS DEL MAR	112.5
11	VETERINARIA	225
12	VETERINARIA	<u>300</u>
	CARGA TOTAL	6,287.50

## UBICACION

La Subestación N° 2 de Ciudad Universitaria, está situada en el circuito exterior junto al Centro de Instrumentos, - entrente de la escuela de Trabajo Social y a espaldas de la - avenida de los Insurgentes. Esta ubicación nace de acuerdo a los siguientes estudios:

- a) Centro de carga
- b) Acometida
- c) Facilidad de acceso, tanto de Comisión Federal de --- Electricidad, Compañía de Luz y Fuerza y el personal de la Universidad.
- d) Condiciones Ajenas; edificios construidos en el lugar donde quedará el centro de carga, topografía del terreno, etc.

El último punto recae principalmente, en el aspecto económico, el cual será de suma importancia en la toma de decisiones.

## ALIMENTACIONES A CIUDAD UNIVERSITARIA

Es necesario hacer notar la importancia que tienen las -

diferentes fuentes de alimentación, ya que éstas nos garantizan la continuidad del servicio en un recinto de la importancia de Ciudad Universitaria.

La importancia radica principalmente, en la población -- tan grande de estudiantes, profesores y personal en general -- el cual es calculado en 300,000 personas, en donde los riesgos de dejar a éstas sin energía eléctrica, podría resultar -- de consecuencias no deseadas.

Por otra parte, el equipo electrónico como microscopios, reactores, motores, instrumentos de precisión, computadoras y equipo en general, los cuales al no funcionar reflejan pérdidas tanto económicas, como al nivel académico y de investigación.

En función de las razones antes expuestas y del criterio del Ingeniero Electricista, de tratar de dar continuidad al -- sistema con seguridad y confiabilidad, a continuación, damos los amarres a los cuales la red radial de Ciudad Universitaria se encuentra integrada.

Las acometidas provienen; una de la Subestación Taxqueña y la obra de la Subestación Olivar de los Padres. Estas acometidas, se encuentran conectadas a un interruptor de transferen--



cia, el cual opera en caso de falla en cualquiera de las dos, en un tiempo de 2 segundos, pasando de la acometida donde se -- produjo la falla a la otra. En caso de que la otra Subesta-- ción a la cual se transfirió la potencia se encuentre al máxi-- mo de su capacidad, ésta de todas formas tomará la carga de - Ciudad Universitaria por ser carga preferente, en el tiempo - que automáticamente deje carga de otro sector.

## CAPITULO 2.- ANALISIS DE CORTO CIRCUITO

Este análisis se realiza con el objeto principal de la - determinación del nivel máximo de corto circuito impuesto a los interruptores y buses del sistema de la subestación, así como los principales tipos de falla que pudieran ocurrir.

Se empleará el método de las componentes simétricas al - estudio de varios casos de desequilibrio trifásico, debido a las fallas más frecuentes como son:

Falla de corto circuito trifásico, falla de fase a tie-- rra, falla entre fases, falla entre fases a tierra.

La contribución del sistema se estima en 500 MVA simétrico y 300 MVA en desbalanceo, con un radio vector  $X/R=10$  (1).

Los valores de impedancia de los transformadores:

Clave	Potencia	X/R	Impedancia
TR-1, TR-2 TR-3	2.5 MVA	8	8.8%

Todas las reactancias del sistema son obtenidas en valores por unidad y son referidos a una base de 1 MVA.

En el diagrama unifilar (figura 2-1) se muestra la disposición de la subestación, en la cual cuando esta en servicio, sólo funcionan dos transformadores, teniendo un tercero para poder dar mantenimiento sin que la subestación quede fuera de servicio, por lo que el análisis sólo se hará para dos transformadores y las fallas correspondientes a los buses.

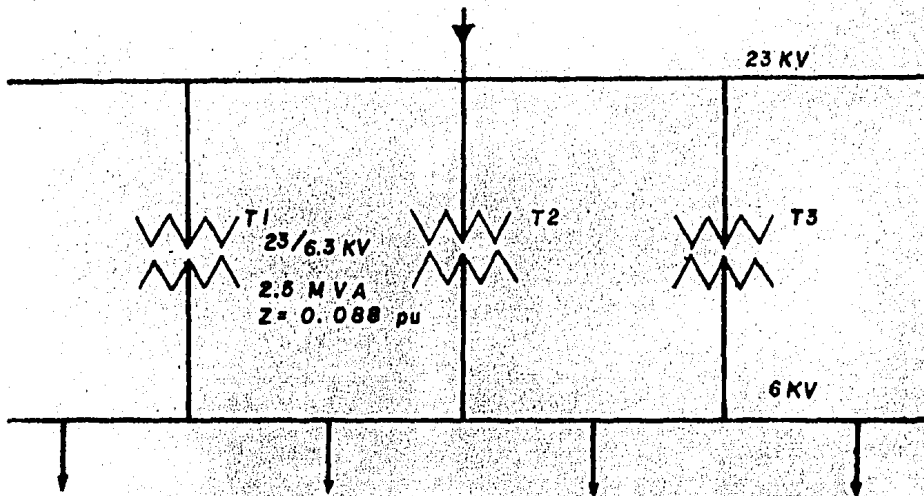


FIG. 2.1

2.1) FALLA DE CORTO CIRCUITO TRIFASICO.- Para nuestro sistema la falla de corto circuito trifásico es la que tiene mayor importancia en el interruptor, las corrientes de falla son calculados para valores simétricos y asimétricos.

Las condiciones de falla para este caso:

$$V_a = V_b = V_c \quad I_a + I_b + I_c = 0$$

En este caso la falla no introduce ningún desequilibrio en el sistema trifásico y por lo tanto, solo interviene el -- circuito de secuencia positiva.

Obteniendo la impedancia del sistema:

$$\bar{Z}_s = \frac{(KV)^2}{(MVA)} \frac{(MVA_B)}{(KV_b)^2} (\%)$$

$$Z_s = \frac{(23 KV)^2}{(500 MVA)} \frac{(1 MVA)}{(23 KV)^2} (1.02)$$

$$Z_s = 0.002 \text{ pu}$$

$$Z_s = 0.002 / \text{tg}^{-1} 10$$

$$Z_s = 0.000199 + j 0.00199$$

$$Z_s = 0.0002 + j0.002 \text{ pu}$$

Por lo que la resistencia y la reactancia son respectivamente:

$$R = 0.002 \text{ pu}$$

$$X = 0.002 \text{ pu}$$

Obteniendo la impedancia de los transformadores:

$$Z_{tr} = \frac{MVA \text{ base}}{MVA \text{ trans.}} \frac{\% Z}{100}$$

Se utiliza un factor de tolerancia de  $\pm 7.5\%$  en el valor de la impedancia. Tomando en cuenta que para menor impedan--

-cia el corto es mayor obtenemos:

$$Z_{tr} = \frac{1}{2.5} \frac{\text{MVA}}{\text{MVA}} \frac{8.8}{100} (0.925)$$

$$Z_{tr} = 0.03256 \text{ pu}$$

$$Z_{tr} = 0.03256 / \underline{\text{tg}^{-1} 8}$$

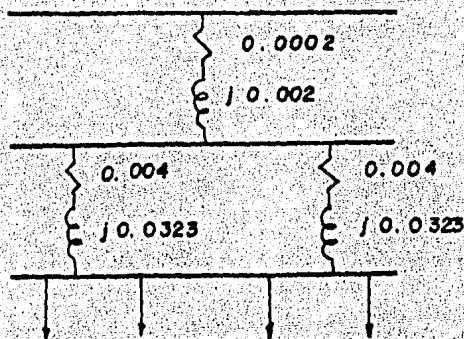
$$Z_{tr} = 0.004 + j 0.0323 \text{ pu}$$

Por lo tanto su reactancia y su resistencia son respectivamente:

$$X_{tr} = 0.0323 \text{ pu}$$

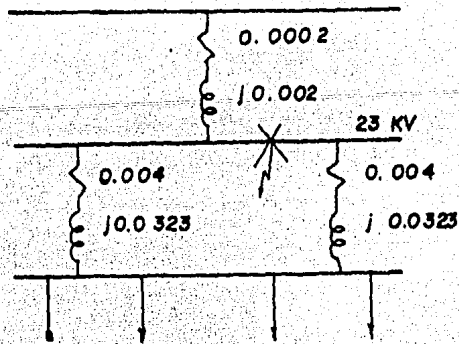
$$R_{tr} = 0.004 \text{ pu}$$

### Diagrama de Impedancias



La base de tensión se referirá a 23 KV en la alimentación y en los transformadores de 23/ 6 KV.

2.1.1 Analizando la falla en el bus de 23 KV



La corriente de corto circuito será:

$$I_{cc_1} = \frac{E_s}{Z_s}$$

$$I_{cc_1} = \frac{1}{0.002 \angle -\text{tg}^{-1} 10}$$

$$I_{cc_1} = 500 \angle -\text{tg}^{-1} 10 \text{ pu}$$

Transformando a valor de corriente real.

$$I_{cc} = ( I_{cc_1} ) \frac{\text{MVA base}}{\sqrt{3} \text{ KV base}}$$

$$I_{cc} = ( 500 ) \frac{1 \text{ MVA}}{\sqrt{3} 23 \text{ KV}}$$

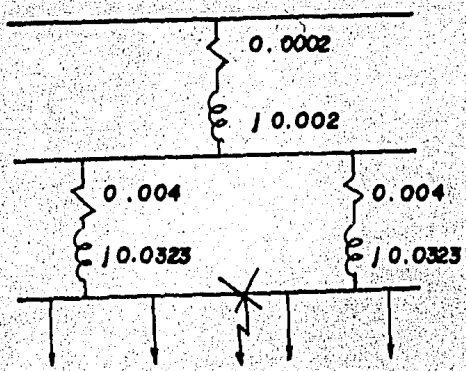
$$I_{cc} = 12.55 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

y el valor de corto circuito asimétrico

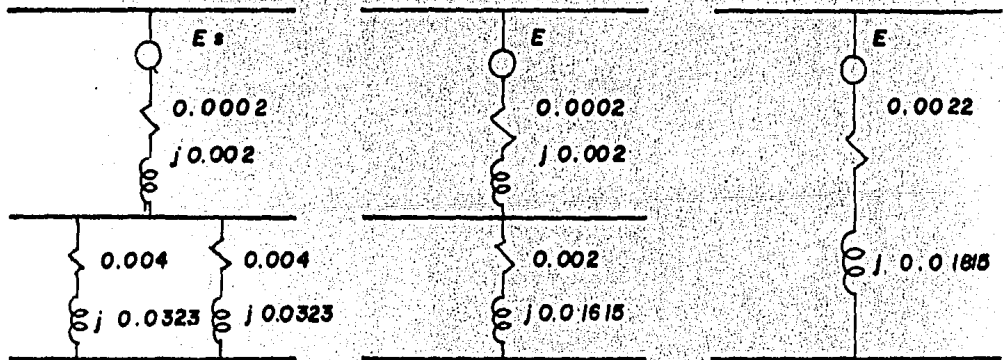
$$I_{cc \text{ asim}} = \sqrt{3} I_{cc}$$

$$I_{cc \text{ asim}} = 21.739 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

2.1.2. Analizando la falla en el bus de 6 Kv.



Resolviendo el circuito equivalente de Thevenin:



La corriente de corto circuito será:

$$I_{cc2} = \frac{E_s}{Z_{eq}}$$

$$I_{cc2} = \frac{1}{0.0022 + j 0.01815}$$

$$I_{cc2} = 54.696 \angle -83^\circ \text{ pu}$$

La corriente simétrica

$$I_{cc} = 54.969 \frac{1 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 6 \text{ KV}}$$

$$I_{cc} = 5.263 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

La corriente de corto asimétrica:

$$I_{cc \text{ asim.}} = \sqrt{3} \cdot I_{cc}$$

$$I_{cc \text{ asim}} = \sqrt{3} \cdot 5.263 \times 10^3$$

$$I_{cc \text{ asim}} = 9.116 \times 10^3 \text{ Amp.}$$



## 2.2) FALLA DE CORTO CIRCUITO DE UNA FASE A TIERRA

En este caso, la falla de corto circuito de una fase a tierra es la que se podría considerar la más frecuente entre los demás tipos de falla, pudiendo así tener los valores de corriente y voltaje para el cálculo y ajuste de las protecciones.

Esta falla introduce un desequilibrio en la que intervienen las ecuaciones de secuencia positiva, negativa y cero.

Los valores de secuencia positiva determinados anteriormente en la falla trifásica siguen siendo los mismos.

Por lo que los valores son:

De secuencia positiva

Del Sistema

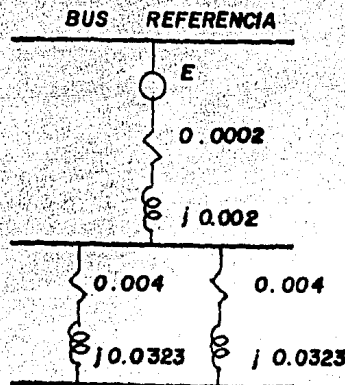
$$R_s = 0.0002 \text{ pu}$$

$$X_s = 0.002 \text{ pu}$$

Del Transformador

$$R_{tr} = 0.004 \text{ pu}$$

$$X_{tr} = 0.0323 \text{ pu}$$



De secuencia negativa

Del Sistema

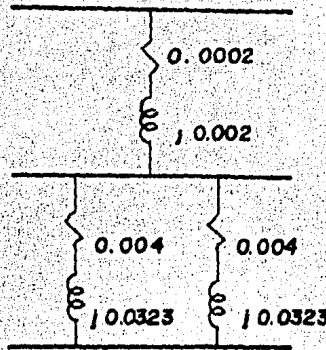
$$R_s = 0.0002 \text{ pu}$$

$$X_s = 0.002 \text{ pu}$$

Del Transformador

$$R_{tr} = 0.004 \text{ pu}$$

$$X_{tr} = 0.0323 \text{ pu}$$



Determinando el circuito de secuencia cero del sistema.

En falla asimétrica  $P_{cc} = 300 \text{ MVA}$

En la falla de una fase a tierra

$$I_{cc} = (P_{cc} / \sqrt{3} \text{ KV}) (\sqrt{3} \text{ KV bases} / \text{MVA base})$$

$$I_{cc} = (300 / \sqrt{3} \cdot 23) (\sqrt{3} \cdot 23 / 1)$$

$$I_{cc} = 300 \text{ pu}$$

$$Z_0 = \frac{3E}{I_{cc}} = Z_1 + Z_2$$

$$Z_0 = \frac{3(1)}{300} = 0.002 + 0.002 = 0.006 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0.006 \angle \text{tg}^{-1} 10$$

$$Z_0 = 0.0006 + j 0.006 \text{ pu}$$

La impedancia de secuencia cero de los transformadores es igual a la impedancia de secuencia positiva por lo que:

$$Z_0 = Z_1 = Z_2$$

De secuencia cero

Del Sistema

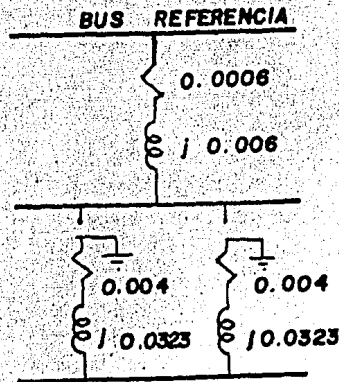
$$R_s = 0.0006 \text{ pu}$$

$$X_s = 0.006 \text{ pu}$$

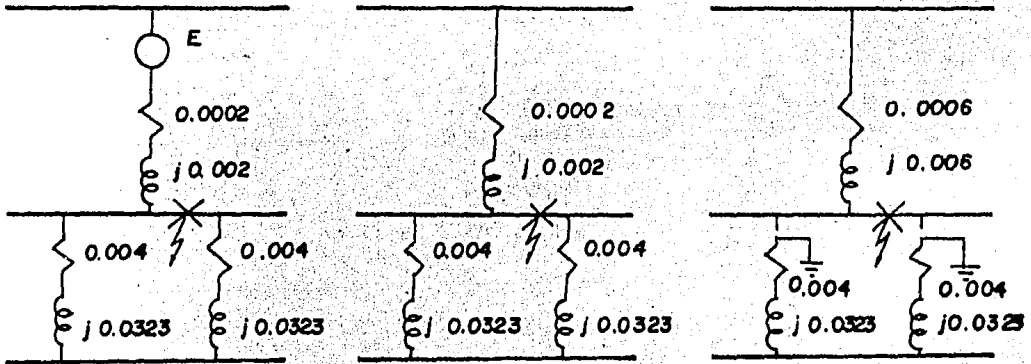
Del Transformador

$$R_{tr} = 0.004$$

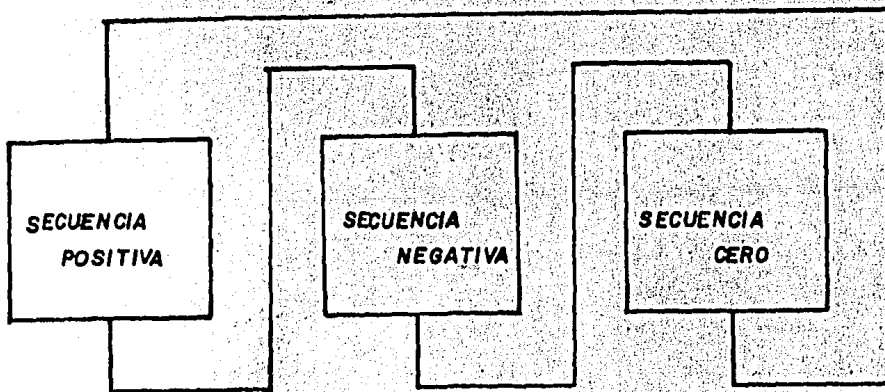
$$X_{tr} = 0.0323$$

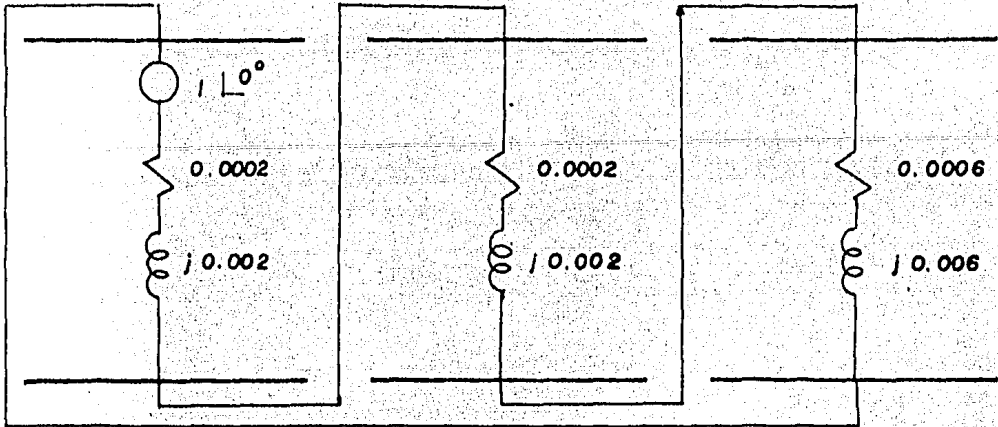


2.2.1) ANALIZANDO LA FALLA PARA EL BUS DE 23 KV



Conexión de los diagramas de secuencia para una falla de fase a tierra.





Las condiciones que se cumplen son:

$$V_a = 0 \quad I_0 = I_1 = I_2 = I_a \quad I_b = I_c = 0$$

$$\dots V_a = V_0 + V_1 + V_2 = 0$$

$$\dots Z_0 I + Z_1 I + Z_2 I = E$$

$$I = \frac{E}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

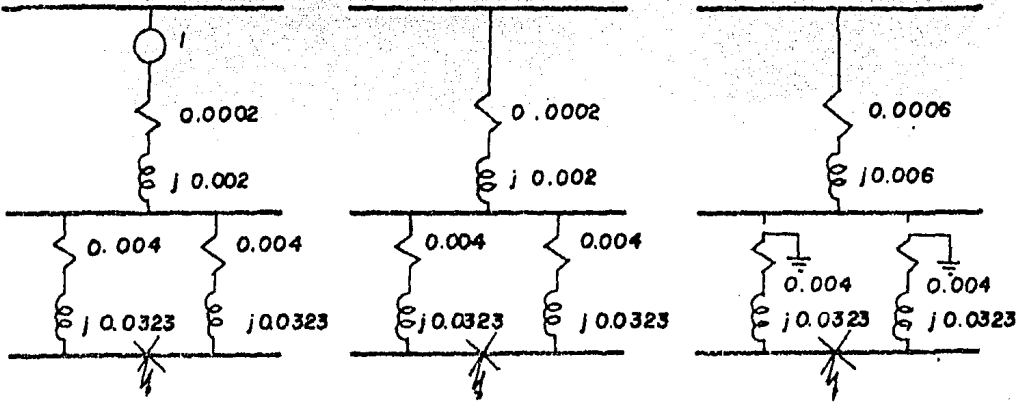
$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{I_a}{3} = I$$

$$I_{\text{falla}} = I_a = \frac{3E}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

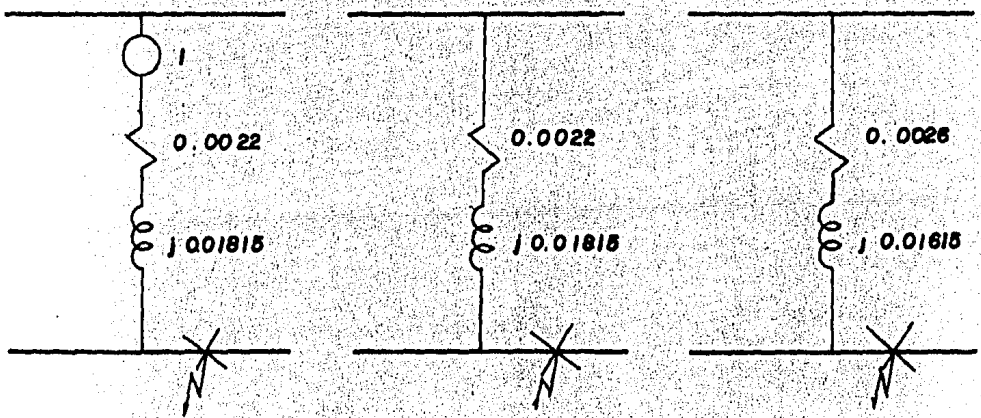
$$I_{\text{falla}} = \frac{3}{0.006 + 0.002 + 0.002} = 300 \text{ pu}$$

$$I_{\text{falla}} = (300) \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 23} = 7.53 \text{ KA}$$

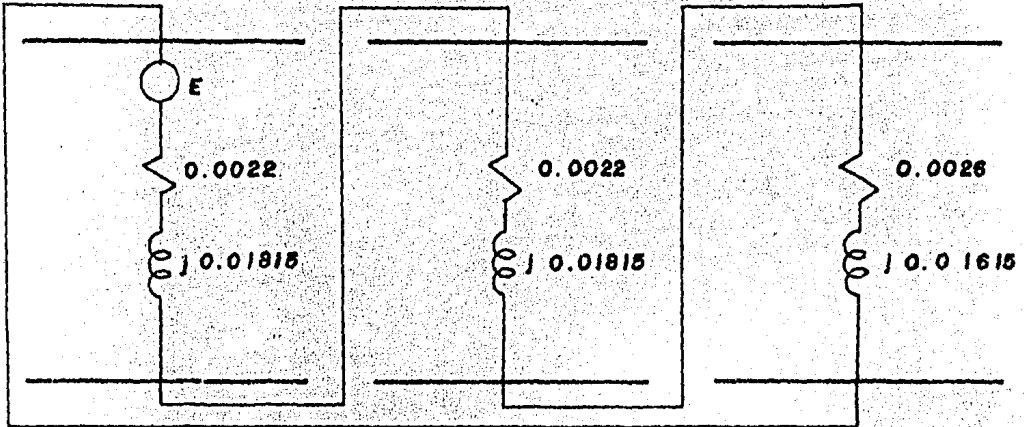
2.2.2) ANALIZANDO LA FALLA PARA EL BUS DE 6 KV



Tomando el equivalente de Thevenin para cada uno de los diagramas de secuencia.



Conectando los diagramas de secuencia.



Las condiciones de falla son:

$$V_a = 0 \quad I_0 = I_1 = I_2 = I = I_a / 3 \quad I_b = I_c = 0$$

$$I_{\text{falla}} = I_a = \frac{3E}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

$$I_{\text{falla}} = \frac{3}{(0.0022 + j0.01815) + (0.0022 + j0.01815) + (0.0022 + j0.01615)}$$

$$I_{\text{falla}} = \frac{3}{0.0064 + j0.05245}$$

$$I_{\text{falla}} = 56.7762 \angle -83.043 \text{ pu}$$

$$I_{\text{falla}} = 56.7762 \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6}$$

$$I_{\text{falla}} = 5.46329 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

### 2.3) FALLA DE CORTO CIRCUITO ENTRE FASES

Para nuestro sistema esta es solo una falla informativa.

En este caso existe un desequilibrio en el sistema trifásico por lo que intervienen los diagramas de secuencia positiva y negativa.

#### 2.3.1) FALLA DE CORTO CIRCUITO ENTRE FASES EN EL BUS DE 23 KV.

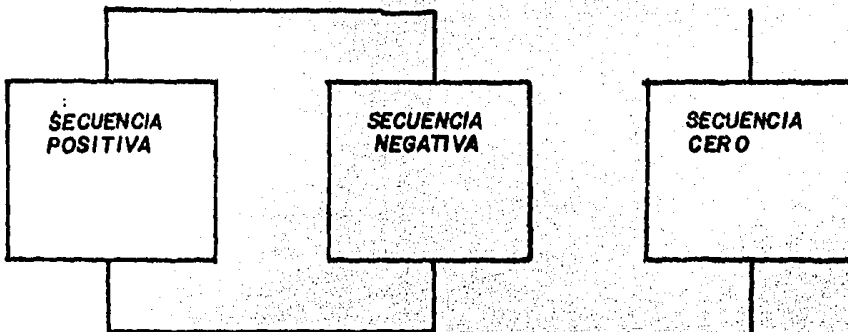
Datos de falla:

$$V_b = V_c$$

$$I_b = -I_c$$

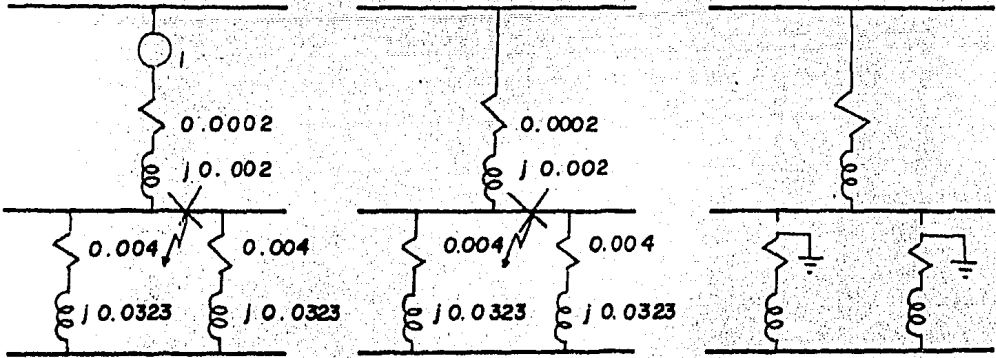
$$I_a = 0$$

conexión de los diagramas de secuencia:

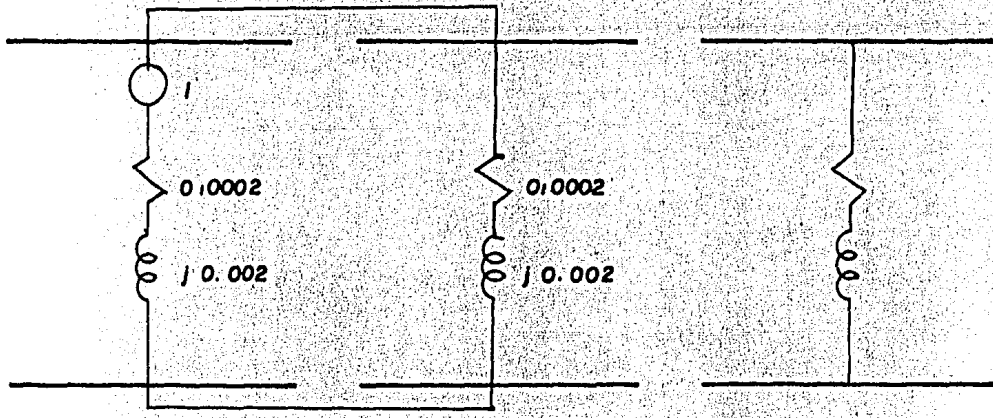




Diagramas de secuencia:



Conectando ambos diagramas:



De donde: 
$$I_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_1 = \frac{1}{(0.0002 + j0.002) + (0.0002 + j0.002)}$$

$$I_1 = 248.7593 \text{ pu}$$

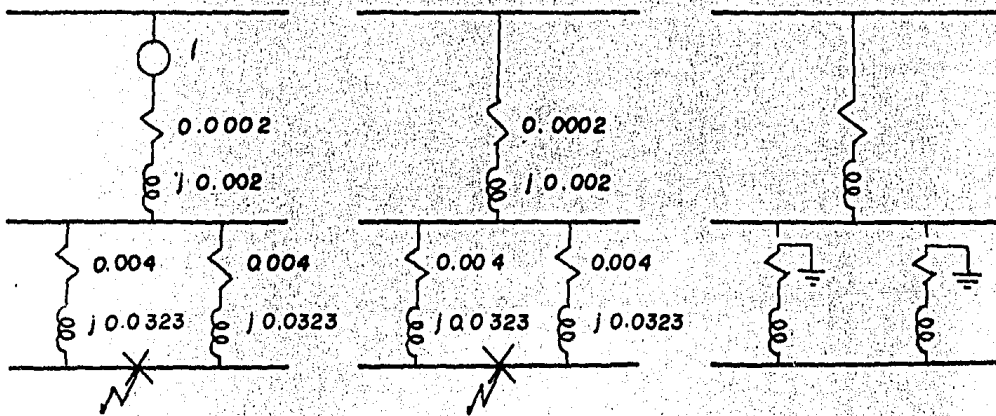
$$I_f = \sqrt{3} I_1 = 430.863 \text{ pu}$$

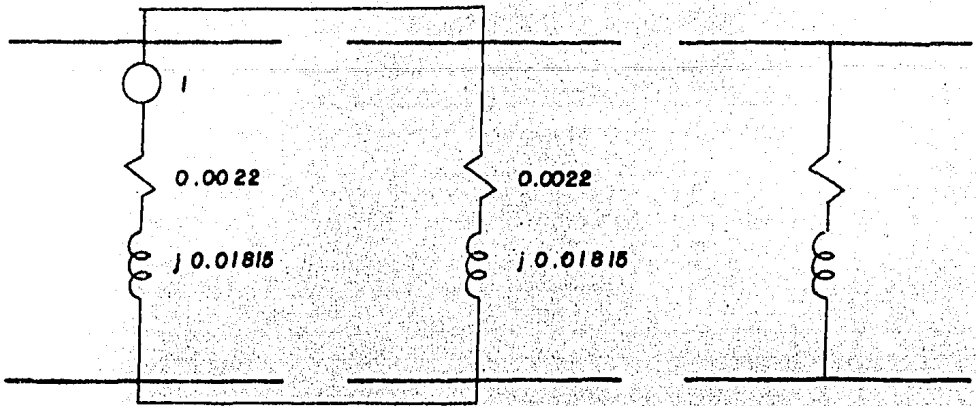
$$I_f = 430.863 \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 23} \text{ KA}$$

$$I_f = 10.815 \text{ Kamp.}$$

2.3.2) FALLA EN EL BUS DE 6 KV.

Dibujando sus diagramas de secuencias y simplificacndo - por el teorema de Thevenin.





$$I_1 = \frac{F}{z_1 + z_2}$$

Sustituyendo

$$I_1 = \frac{1}{(0.0022 + j0.01815) + (0.0022 + j0.01815)}$$

$$I_1 = \frac{1}{0.0044 + j0.0363}$$

$$I_1 = 27.348 \angle -84^\circ$$

$$I_{falla} = \sqrt{3} I_1 = 47.368$$

$$I_{falla} = I_{falla} \frac{1}{\sqrt{3} 6}$$

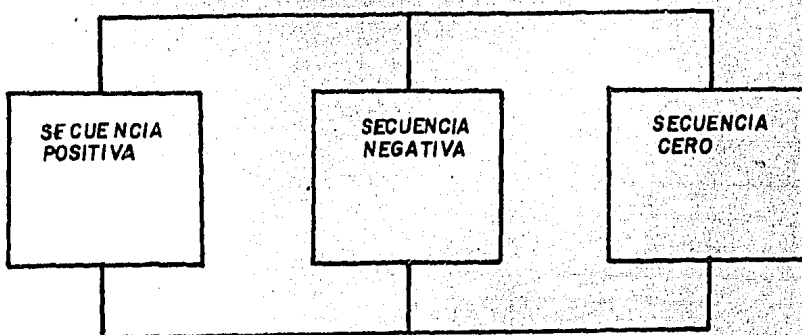
$$I_{falla} = 4.558 \text{ Kamp.}$$

## 2.4) FALLA DE CORTO CIRCUITO DE DOS FASES A TIERRA

El desequilibrio debido a la falla de las dos fases dan como consecuencia las siguientes condiciones de falla:

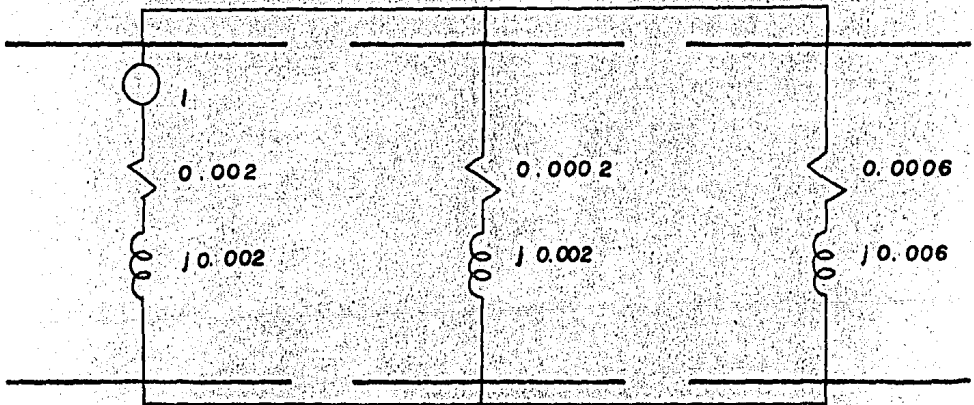
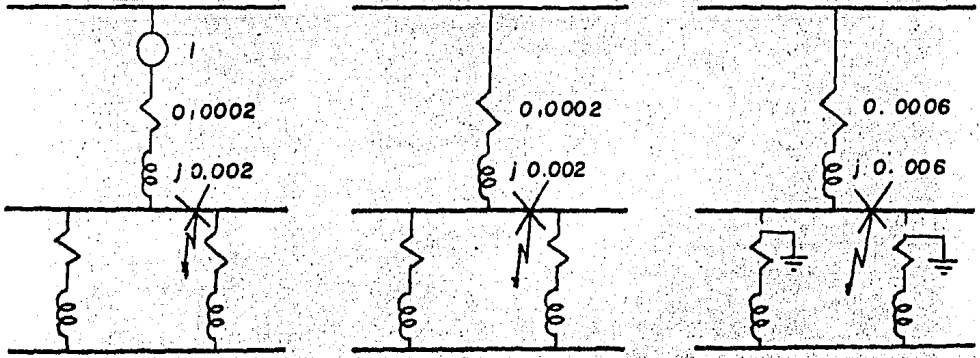
$$V_b = V_c = 0 \quad I_a = 0 \quad I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

Por lo tanto el diagrama de conexiones de los circuitos de consecuencia sera:



### 2.4.1.) FALLA EN EL BUS DE 23 KV.

A continuación se muestran los diagramas de secuencia positiva, negativa y cero, y su conexión entre ellos:



Cálculo:

Resolviendo por ecuaciones de malla:

$$1) \quad I_1 + i_1$$

$$2) \quad I_2 = i_1 - i_2$$

$$3) \quad I_0 = i_2$$

$$\therefore 4) \quad 2(0.0002 + j 0.002) i_1 - (0.0002 + j 0.002) i_2 = 1$$

$$5) \quad -(0.0002 + j 0.002) i_1 + 4(0.0002 + j 0.002) i_2 = 0$$

Resolviendo el sistema:

$$6) \quad i_1 = I_1 = 284.2963 \quad \underline{\underline{/ - 84.29}} \text{ pu.}$$

$$7) \quad i_2 = I_0 = 71.074 \quad \underline{\underline{/ - 84.29}} \text{ pu.}$$

$$8) \quad I_2 = i_1 - i_2 = 213.2226 \quad \underline{\underline{/ - 84.29}} \text{ pu.}$$

Determinando sus componentes asimétricas:

$$9) \quad I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 568.59 \quad \underline{\underline{/ - 84.29}} \text{ pu.}$$

$$10) \quad I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 188.0447 \quad \underline{\underline{/ 114.8}} \text{ pu.}$$

$$11) \quad I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 188.0447 \quad \underline{\underline{/ 76.60}} \text{ pu.}$$

Multiplicando por la base de corriente se obtiene:

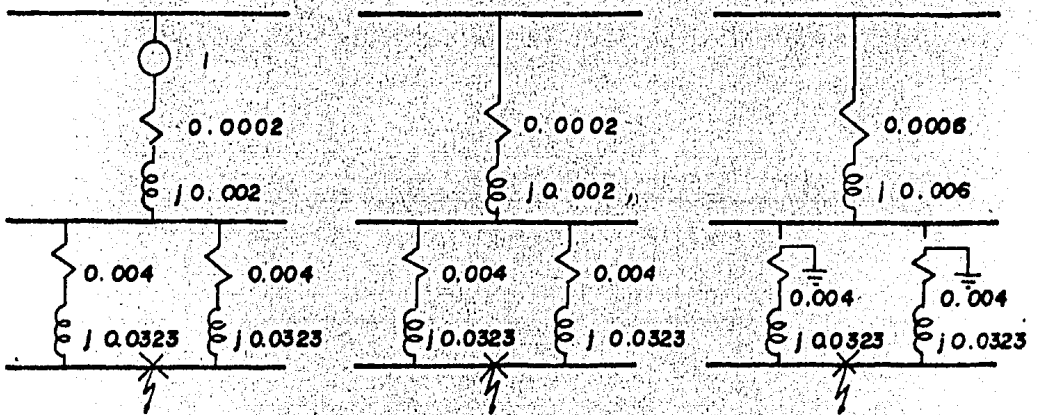
$$13) \quad I_a \text{ falla} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 23} I_a = 7.13 \quad \underline{\underline{/ - 84.29}} \text{ K Amp.}$$

$$14) I_b \text{ falla} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 23} \quad I_b = 4.72 \quad / 114.8 \text{ K Amp.}$$

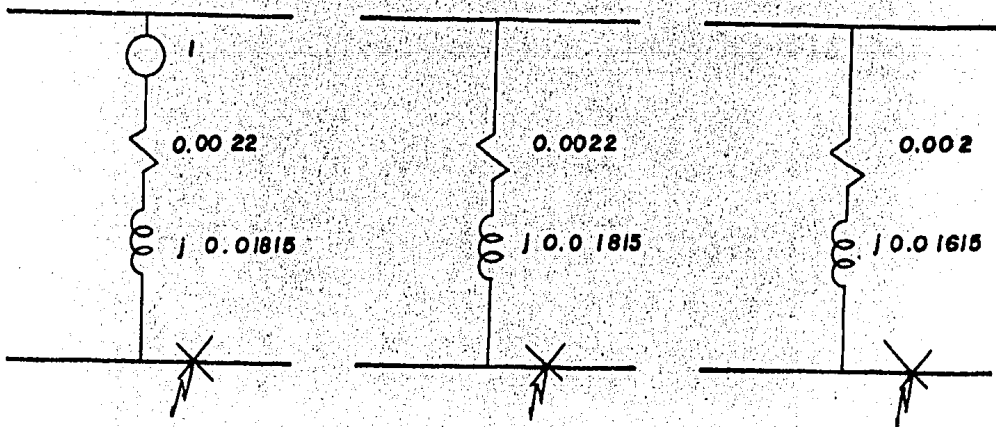
$$15) I_c \text{ falla} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 23} \quad I_c = 4.72 \quad / 76.60 \text{ K Amp.}$$

2.4.2.) FALLA EN EL BUS DE 6 KV

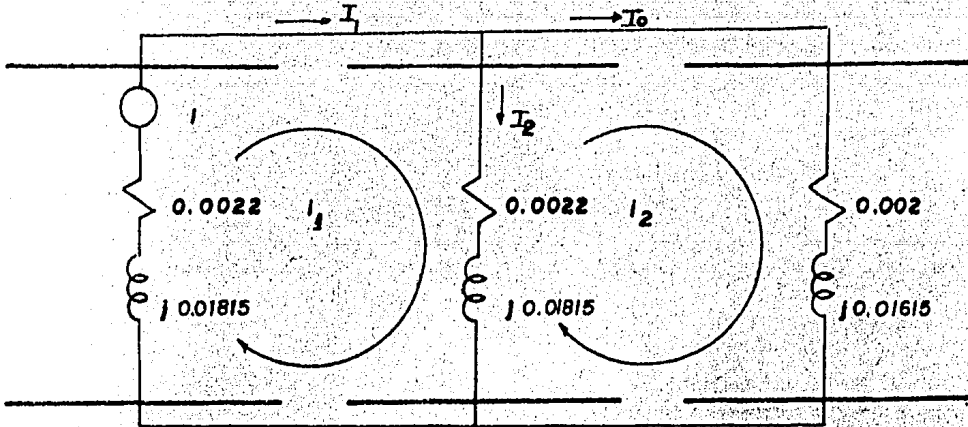
Diagrama de secuencia positiva, negativa y cero



Tomando el equivalente de Thevenin:



Conectando el circuito equivalente de secuencia:



Resolviendo por corrientes de malla:

$$1) \quad I_1 = i_1$$

$$2) \quad I_0 = i_2$$

$$3) \quad I_2 = i_1 - i_2$$

$$4) \quad 2(0.0022 + j 0.01815) i_1 - (0.0022 + j 0.01815) i_2 = 1$$

$$5) \quad -(0.0022 + j 0.01815) i_1 + (0.0042 + j 0.0343) i_2 = 0$$



Resolviendo el sistema:

$$1) \quad i_1 = I_1 = 38.21 \underline{/ - 92.93} \text{ pu.}$$

$$2) \quad i_2 = I_0 = 20.218 \underline{/ - 92.862} \text{ pu.}$$

$$3) \quad I_1 - i_2 = I_2 = 17.992 \underline{/ 267} \text{ pu.}$$

Determinando las componentes simétricas:

$$4) \quad I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 76.42 \underline{/ 267^\circ} \text{ pu.}$$

$$5) \quad I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 19.162 \underline{/ 152.84^\circ} \text{ pu.}$$

$$6) \quad I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 19.24 \underline{/ 21.337^\circ} \text{ pu.}$$

Obteniendo las corrientes reales:

$$7) \quad I_{a \text{ falla}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6} \quad I_a = 7.3535 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

$$8) \quad I_{b \text{ falla}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6} \quad I_b = 1.8437 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

$$9) \quad I_{c \text{ falla}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6} \quad I_c = 1.8514 \times 10^3 \text{ Amp.}$$

### CAPITULO 3.- PROTECCION

La protección de la subestación consiste en una serie de elementos, los cuales actúan al presentarse una falla o disturbio en ésta.

Los principales equipos que se protegerán en la subestación, son los transformadores y los buses, pero también existirán otro tipo de protecciones las cuales se verán más adelante.

La protección es una parte muy importante en la subestación ya que si ésta no llegara a funcionar, no se mantendría la continuidad en el servicio, con lo cual no estaríamos cumpliendo con el objetivo principal de la subestación.

En la subestación N° 2 de la Ciudad Universitaria, existen tres transformadores de 2,500 KVA., pero únicamente van a estar dos en funcionamiento y el tercero, va a servir como respaldo por si alguno de los transformadores llegara a fallar, o si se necesitara dar mantenimiento a alguno de los dos transformadores.

La protección que más se va a utilizar son los relevadores, los cuales detectan si existe algún disturbio e inician

la acción, con el fin de aislar las partes dañadas o en peligro, lo cual permite al resto del sistema mantener un alto grado de continuidad en el servicio.

Los relevadores solo detectan la falla y envían la orden al interruptor para que la aisle, ya que éste no posee los medios necesarios para determinar cuando debe cerrarse o abrirse, para proteger al equipo de la subestación; por esta razón un interruptor sin relevador, solamente es un dispositivo para abrir o cerrar.

Los interruptores están localizados de tal manera, que cada transformador, barra colectora, o cualquier equipo protegido en la subestación, puedan ser desconectados por completo del resto del sistema. Estos interruptores deben de tener la capacidad suficiente para que puedan conducir momentáneamente la corriente de corto circuito máxima que puede fluir a través de ellos, e interrumpir dicha corriente; deben soportar también el recierre de un corto circuito semejante e interrumpirlo.

A continuación se ven en los siguientes cuadros de la Norma de nomenclatura de la ASA (American Standard Association), la función de dispositivos y protección de los cuales existen relevadores.

**NORMA DE NOMENCLATURA CONNIE NUMEROS ASA**  
**(AMERICAN STANDARD ASSOCIATION) DE FUNCION DE DISPOSITIVOS Y PROTECCION**

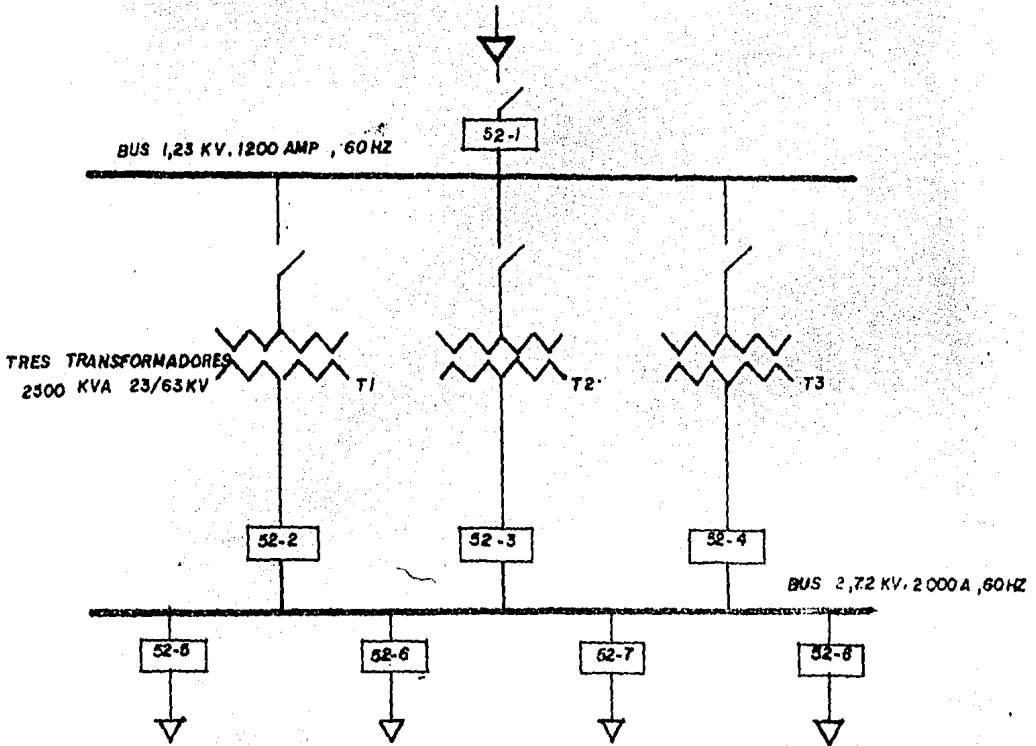
NUMERO	TERMINO	NUMERO	TERMINO
1	ELIMINATOR MAESTRO	22	INTERRUPTOR IGUALADOR
2	RELEVADOR DE RETARDO PARA ARRANQUE O CIZNE	23	DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA
3	RELEVADOR DE ENTRELACE O VERIFICACION	24	(#)
4	CONTACTOR MAESTRO	25	DISPOSITIVO SINCRONIZACION O VERIFICADOR DE SINCRONISMO
5	DISPOSITIVO DE PARADA	26	DISPOSITIVO TERMICO DE APARATOS
6	INTERRUPTOR DE ARRANQUE	27	RELEVADOR DE BAJA TENSION
7	INTERRUPTOR DE ANODO	28	DETECTOR DE FLAMA
8	DISPOSITIVO DE DESCONEXION DEL CIRCUITO DE CONTROL	29	CONTACTOR DE AISLAMIENTO
9	DISPOSITIVO DE INVERSION	30	RELEVADOR ANUNCIADOR
10	SELECTOR O INTERRUPTOR DE SECUENCIA DE UNIDADES	31	DISPOSITIVO PARA EXITACION INDEPENDIENTE
11	RESERVADO PARA APLICACIONES FUTURAS (#)	32	RELEVADOR DIRECCIONAL DE POTENCIA
12	DISPOSITIVO DE SOBREVELOCIDAD	33	INTERRUPTOR DE POSICION
13	DISPOSITIVO DE VELOCIDAD SINCRONICA	34	INTERRUPTOR DE SECUENCIA ACCIONADO POR MOTOR
14	DISPOSITIVO DE BAJA VELOCIDAD	35	DISPOSITIVO PARA ACCIONAMIENTO DE LAS ESCOBILLAS O PARA PONER EN CIRCUITO CON LOS ANILLOS COLECTORES
15	DISPOSITIVO IGUALADOR DE FRECUENCIA O VELOCIDAD	36	DISPOSITIVO DE POLARIDAD
16	(#)	37	RELEVADOR DE BAJA CORRIENTE O BAJA POTENCIA
17	INTERRUPTOR O CONTACTOR DE DESCARGA	38	DISPOSITIVO PROTECTOR DE CHUMACERAS
18	DISPOSITIVO DE ACELERACION O DESACELERACION	39	MONITOR DE CONDICIONES MECANICAS
19	CONTACTOR DE TRANSICION DE ARRANQUE A NORMAL	40	ELEVADOR DE CAMPO
20	VALVULA DE OPERACION ELECTRICA	41	INTERRUPTOR DE CAMPO
21	RELEVADOR DE DISTANCIA	42	INTERRUPTOR DE MARCHA NORMAL

NORMA DE NOMENCLATURA CONNIE NUMEROS ASA (AMERICAN STANDARD ASSOCIATION) DE FUNCION DE DISPOSITIVOS Y PROTECCION			
NUMERO	TERMINO	NUMERO	TERMINO
43	DISPOSITIVO MANUAL DE TRANSFERENCIA O SELECTOR.	63	RELEVADOR DE FLUJO, NIVEL O PRESION DE GASES O LIQUIDOS.
44	RELEVADOR DE ARRANQUE DE LA UNIDAD EN SECUENCIA.	64	RELEVADOR PROTECTOR DE FALLA A TIERRA.
45	MONITOR DE CONDICIONES ATMOSFERICAS.	65	GOBERNADOR O REGULADOR DE VELOCIDAD.
46	RELEVADOR DE CORRIENTE PARA SECUENCIA INVERSA O EQUILIBRIO DE FASES.	66	DISPOSITIVO DE ESCALONAMIENTO O DE AVANCE PAULATINO.
47	RELEVADOR DE TENSION DE SECUENCIA DE FASES.	67	RELEVADOR DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE PARA CORRIENTE ALTERNA.
48	RELEVADOR DE SECUENCIA INCOMPLETA.	68	RELEVADOR DE BLOQUEO.
49	RELEVADOR TERMICO DE MAQUINA O TRANSFORMADOR.	69	DISPOSITIVO DE CONTROL PERMISIVO.
50	RELEVADOR INSTANTANEO DE SOBRECORRIENTE O DE RELACION INCREMENTO DE LA CORRIENTE.	70	REOSTATO ACCIONADO ELECTRICAMENTE.
51	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO PARA CORRIENTE ALTERNA.	71	RELEVADOR DE NIVEL DE LIQUIDO O DE GAS.
52	INTERRUPTOR DE POTENCIA PARA CORRIENTE ALTERNA.	72	INTERRUPTOR DE CORRIENTE DIRECTA.
53	RELEVADOR DE EXITADIZ O DE GENERADOR PARA CORRIENTE DIRECTA.	73	CONTACTOR PARA RESISTENCIA DE CIRCUITO.
54	INTERRUPTOR DE CORRIENTE DIRECTA DE ALTA VELOCIDAD.	74	RELEVADOR DE ALARMA.
55	RELEVADOR DE FACTOR DE POTENCIA.	75	MECANISMO DE CAMBIO DE POSICION.
56	RELEVADOR DE APLICACION DEL CAMPO.	76	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE PARA CORRIENTE DIRECTA.
57	DISPOSITIVO PARA CONECTAR EN CORTO CIRCUITO A TIERRA.	77	TRANSMISOR DE PULSACIONES.
58	RELEVADOR DE FALLA DE ENCENDIDO DE UN RECTIFICADOR.	78	RELEVADOR PROTECTOR CONTRA VARIACION DEL ANGULO DE FASE.
59	RELEVADOR DE SOBRETENSION.	79	RELEVADOR DE RECIERRE PARA CORRIENTE ALTERNA.
60	RELEVADOR DE EQUILIBRIO DE TENSION.	80	RELEVADOR DE FLUJO DE GAS O LIQUIDO.
61	RELEVADOR DE EQUILIBRIO DE CORRIENTE.	81	RELEVADOR DE FRECUENCIA.
62	RELEVADOR DE CERRANDO DE PAUSA O APERTURA.	82	RELEVADOR DE RECIERRE PARA CORRIENTE DIRECTA.
		83	RELEVADOR AUTOMATICO PARA CONTROL SELECTIVO O DE TRANSFERENCIA.

NORMA DE NOMENCLATURA CONNIE NUMEROS ASA  
(AMERICAN STANDARD ASSOCIATION) DE FUNCIONES DE DISPOSITIVOS Y PROTECCION

NUMERO	TERMINO	NUMERO	TERMINO
84	MECANISMO DE OPERACION		
85	RELEVADOR DE UN SISTEMA DE ONDAS PORTADORAS O DE HILO PILOTO.		
86	RELEVADOR DE BLOQUEO SUSTENIDO		
87	RELEVADOR DE PROTECCION DIFERENCIAL.		
88	MOTOR O GRUPO MOTOR GENERADOR AUXILIAR		
89	CUCHILLA DE LINEA.		
90	APARATO REGULADOR.		
91	MOTOR DE TENSION DIRECCIONAL.		
92	RELEVADOR DIRECCIONAL DE POTENCIA Y TENSION.		
93	CON FACTOR CAMBIADOR DEL CAMPO.		
94	RELEVADOR DE DISPARO LIBRE		
95	USADOS SOLAMENTE PARA APLICACIONES ESPECIFICAS O INSTALACIONES INDIVIDUALES DONDE NINGUNA DE LAS FUNCIONES DE LOS NUMEROS ASIGNADOS DESDE EL 1 HASTA EL 94 ES COMPLEMENTENTE.		
96			
97			
98			
99			

La subestación N° 2 de Ciudad Universitaria, sin ningún tipo de protección se muestra a continuación:

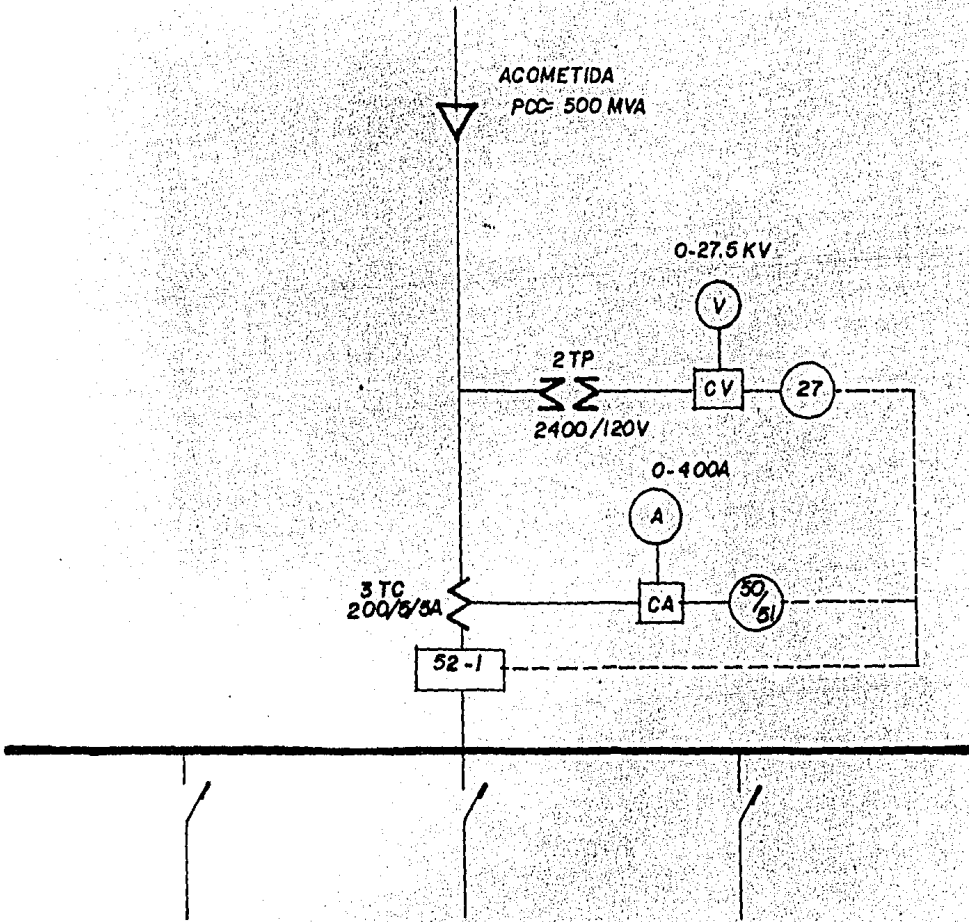


A esta subestación la vamos a dividir en tres zonas para efectos de estudio de protección, las cuales son:

- Zona 1: Zona de Alta Tensión
- Zona 2: Zona de Transformadores
- Zona 3: Zona de Baja Tensión

### 3.1) PROTECCION EN ALTA TENSION

La primera zona a proteger es la de Alta Tensión (Acometida), la cual se muestra a continuación.





La capacidad interruptiva del interruptor 52, es de 1000 MVA., y es capaz de conducir la corriente de corto circuito - máximo que es de:

$$I = P_{cc} / (3)^{\frac{1}{2}} V_L$$

$$I = 500 / (3)^{\frac{1}{2}} (23)$$

$$I = 12.55 \text{ KAmperes.}$$

La corriente anterior, es la que se encontró en el capítulo de Corto Circuito en el caso más crítico, que es la falla de corto circuito trifásico.

La finalidad de los Transformadores de Potencial (llamados por sus siglas TP's), es la de suministrar la tensión adecuada a los instrumentos de medición, protección o ambos, en donde la tensión secundaria en las condiciones de operación, es proporcional a la tensión primaria, defasada respecto a ésta un ángulo cercano a los cero grados. Se utilizan dos TP's de 24,000/120 Volts (CONNIE).

En cuanto a los transformadores de Corriente (llamados por sus siglas TC's) tienen la finalidad de transformar elevadas de corriente a valores de corriente que sean manejables y registrables.

Conectados en serie con los circuitos de alimentación, -  
están sujetas a las mismas sobretensiones y sobrecorrientes,  
que ocurran en la subestación o en los sistemas eléctricos, -  
debidas principalmente a corto circuitos.

Para el cálculo de los TC's, la Potencia en Volt Ampere,  
será la potencia nominal a plena carga, como solamente dos --  
transformadores estarán en operación tendremos una potencia -  
de 5,000 KVA más un 25% que sobrellevará si trabajamos los --  
transformadores con ventilación forzada con lo que tenemos:

$$I = P / (3)^{\frac{1}{2}} V \dots\dots\dots (1)$$

dónde: P = Potencia en Volt Ampere

V = Voltaje en volts

I = Corriente en amperes

$$P = 5,000 (1.25) = 6250 \text{ KVA}$$

por lo tanto:

$$I = 6250 / (3)^{\frac{1}{2}} (23)$$

$$I = 156.888 \text{ Amp.}$$

Como 156.888 es mayor que 150 amperes, de acuerdo con --  
las normas de la CCONNIE (Comité Consultivo Nacional de Norma

lización de la Industria Eléctrica), tenemos que ver el valor máximo superior que en esta caso es de 200 Amp., por lo cual, los TC's que utilizaremos serán de 200/5 Amp.

A continuación veremos a los relevadores:

Relevador 27: Es un dispositivo que funciona para un valor dado de baja tensión.

Relevador 50: Relevador instantáneo de sobrecorriente o relevador de índice de crecimiento; el cual funciona con un valor excesivo creciente de corriente.

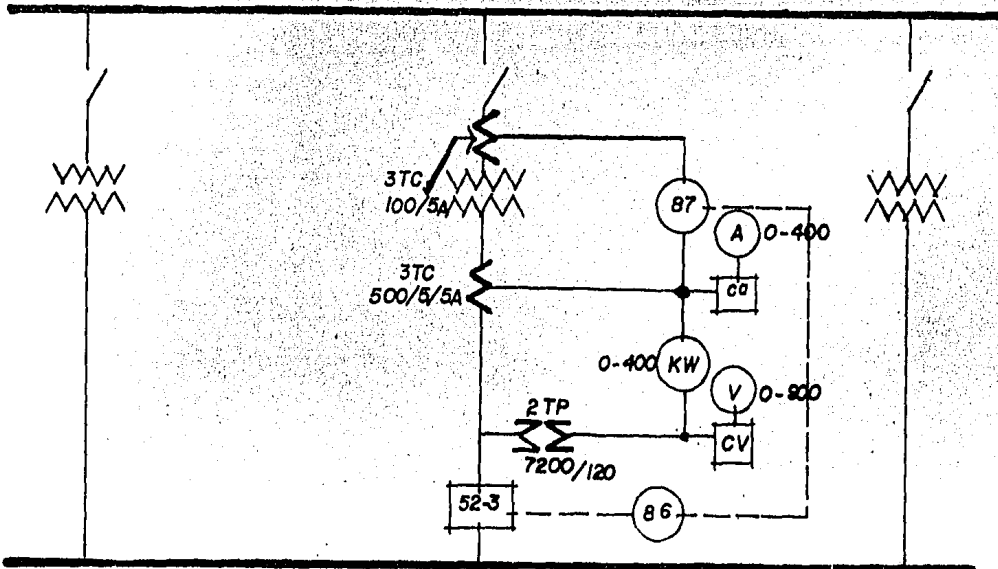
Relevador 51: Relevador de sobrecorriente de tiempo inverso para corriente alterna el cual funciona cuando la corriente excede a un valor predeterminado.

### 3.2) PROTECCION DE BUSES Y TRANSFORMADORES.-

A continuación, se analizará la zona de transformadores, como los tres transformadores tienen las mismas características, solamente analizaremos a uno de ellos, tomando en cuenta que los tres van a tener el mismo tipo de protección.

#### 3.2.1) PROTECCION DE LA ZONA DE TRANSFORMADORES.-

La zona de transformadores ya protegida, se muestra a continuación:



En el diagrama anterior, se utilizan dos TP's de 7,200/120 Volts de acuerdo con la CCONNIE, puesto que queremos reducir el voltaje de 6,300 Volts a una tensión adecuada para los instrumentos de medición (120 Volts), pero al no existir TP's de esta tensión, nos vamos al máximo superior que es el de -- 7,200 Volts.

Para el cálculo de los transformadores de corriente, utilizaremos la formula (1) para la obtención de la corriente.

Los voltajes del transformador son:

Para el lado de alta tensión  $V_a = 23 \text{ KV}$

Para el lado de baja tensión  $V_b = 6.3 \text{ KV}$

Sustituyendo los valores de potencia y de voltaje en la ecuación (1), en el lado de alta tensión, tenemos:

$$I_{AT} = 3125 / (3)^{1/2} (23)$$

$$I_{AT} = 78.44 \text{ Amp.}$$

Por lo tanto, se utilizarán TC's de 100/5 Amp.

Sustituyendo los valores de potencia y de voltaje, en la

ecuación (1), para el lado de baja tensión, tenemos lo siguiente:

$$I_{BT} = 3125 / (3)^{\frac{1}{2}} (6.3)$$

$$I_{BT} = 286.384 \text{ Amp.}$$

Para escoger los TC's del lado de baja tensión, debemos recordar que estos tienen que ir conectados en delta para compensar el defasamiento en la delta-estrella del transformador en potencia, por lo cual como en una conexión delta la corriente de línea es igual a la corriente de fase multiplicada por un factor de  $(3)^{\frac{1}{2}}$ , es decir:

$$I_L = (3)^{\frac{1}{2}} I_f$$

$$\therefore I_L = (3)^{\frac{1}{2}} (286.384)$$

$$I_{TCBT} = 496.031 \text{ Amps.}$$

dónde:  $I_{TCBT}$  = Corriente del TC de Baja Tensión.

De la corriente anterior y de acuerdo con las normas de la CCONNIE utilizaremos TC's de 500/5 Amp.

En cuanto a los relevadores:

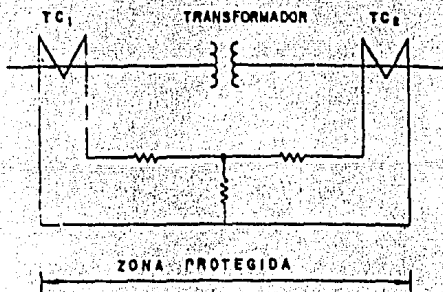
Relevador 87: Es un relevador de protección diferencial el cual funciona con una diferencia cuanti

tativa de dos corrientes.

Relevador 86: Es un relevador receptor de portador o hilo piloto. Es un operador que se retiene por medio de una señal que se usa en conexión con un portador de corriente.

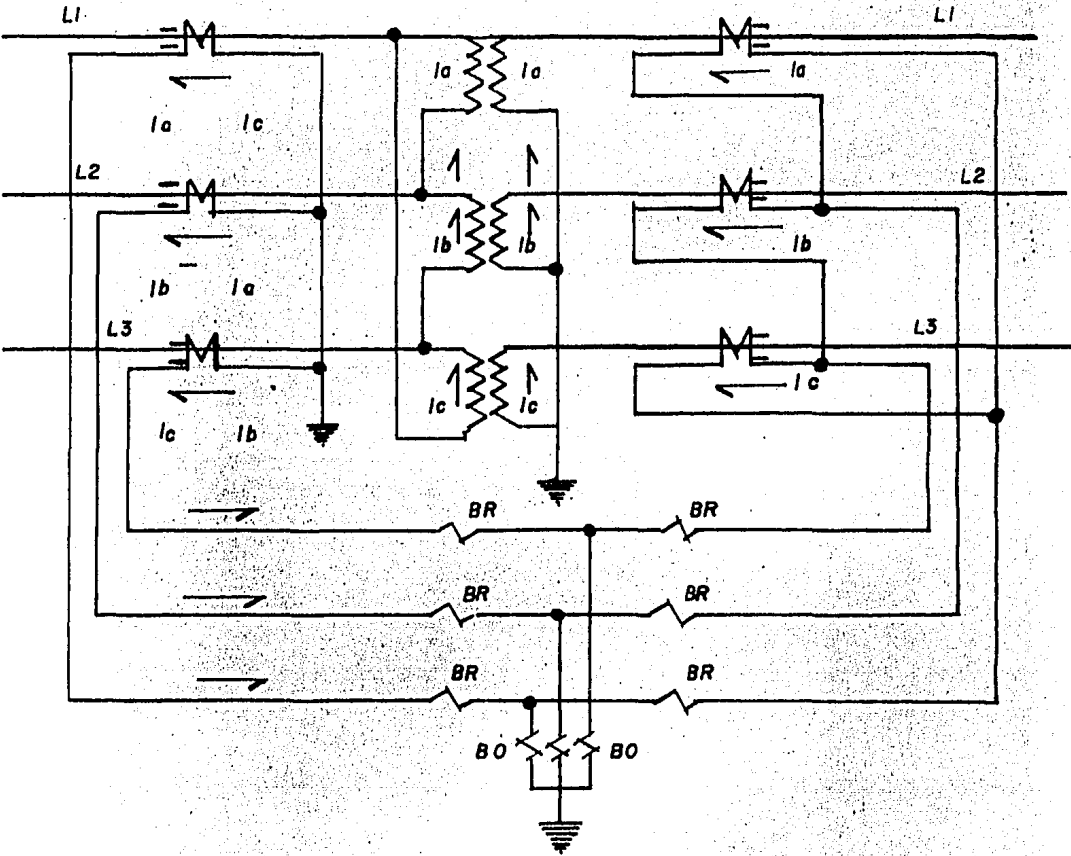
### 3.2.2) PROTECCION DIFERENCIAL EN LOS TRANSFORMADORES.-

La protección diferencial es el tipo de protección empleado en transformadores contra fallas internas de fase a fase y de fase a tierra. El principio de operación consiste en que cualquier desviación de los valores de intensidad de corriente en los extremos de entrada y salida de la zona protegida, indica una falla en esta parte, de manera que esta señal, se puede emplear como indicadora y para disparo del interruptor.



A continuación, se muestra la protección diferencial en forma detallada, para los transformadores delta-estrella -- (aterrizada).

En dónde BR es la bobina de restricción  
 BO es la bobina de Operación



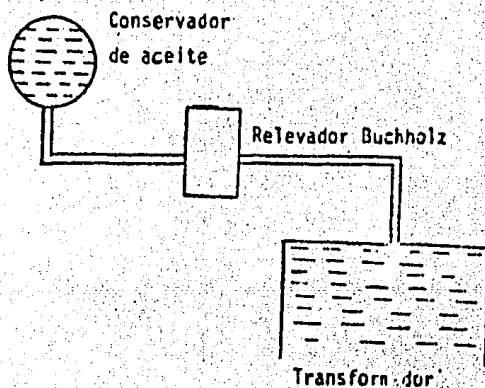


### 3.2.3) RELEVADOR BUCHHOLZ

Se utiliza este tipo de protección en bancos de transformadores. Cuando ocurre una falla, se somete a condiciones de --operación anormales, por lo tanto, es importante prever los da-- ños interiores al ocurrir una falla.

Para cada uno de los transformadores, se les protege con --relevadores Buchholz; el cual está basado en un principio muy-- sencillo, cuando ocurre una falla se produce dentro del tanque transformador, gases y vapor de aceite. El relevador (Buchholz) detecta el gas producido y opera una alarma anunciando la pre--sencia del gas.

El relevador tiene una cámara que normalmente está llena --de aceite instalado en un tubo que conecta al transformador y-- al conservador de aceite como se muestra en la siguiente figu--ra.



En la cámara están alojados dos flotadores móviles, si dentro del transformador ocurre una falla leve, se producirán burbujas de gas que pasan por la tubería y hacen bajar el nivel de aceite por lo cual el flotador, desciende y opera la alarma mientras que el flotador 2, mantiene su posición normal.

Cuando ocurre una falla grande dentro del transformador, se produce más gas causando una circulación de aceite a través del tubo que conecta al transformador y al conservador, debido a esto él logra mover hacia abajo el flotador 2, cerrando el contacto que esta conectado al circuito de disparo del interruptor.

#### 3.2.4) APARTARRAYOS.-

Se utiliza para proteger los transformadores, el interruptor general y las barras colectoras, contra las sobretensiones producidas por los rayos entre los conductores de fase el sistema y tierra. Dicha trayectoria permitirá el paso de la sobrecorriente asociada hace el sistema de tierras, eliminando así la sobretensión.

Esta trayectoria de baja impedancia, debe tener las siguientes características:

- a) No existir antes de que aparezca la sobretensión
- b) Romperse inmediatamente después de que el voltaje regrese a su valor nominal.

Esto se logra en el apartarrayos, mediante:

- a) Un conjunto de elementos que tienen una abertura, llamados explosores, conectados en serie, que soportan el voltaje normal de operación, pero que conducen corriente a una tensión mayor.
- b) Un dispositivo que conjuntamente con los explosores, interrumpe el flujo de corriente procedente del sistema, llamada "corriente seguidora o siguiente", después de que ha pasado la sobretensión debida al rayo.

En las subestaciones al aire libre, se utilizan los aparatos tipo autovalvular, que en la actualidad, es de uso universal.

Para interrumpir el flujo de la "corriente siguiente", el aparato autovalvular cuenta con una columna de un material especial (carburo de silicio mezclado con un aglutinante, moldeados a presión y cocidos), cuya resistencia varía inversamente con el voltaje aplicado, es decir, a mayor voltaje, menor -

resistencia y a menor voltaje, mayor resistencia.

Cuando empieza a disminuir la sobretensión y a aumentar su resistencia, reduce el valor de la corriente hasta una magnitud tal, que ya puede ser interrumpida por los explosores. Esta columna de material de resistencia variable, es el elemento valvular del apartarrayos.

La interrupción normalmente toma lugar la primera vez que la onda de corriente alterna pasa por cero.

En lo que se refiere a la ubicación, los apartarrayos deben colocarse a no más de un metro de las terminales del equipo que se va a proteger. Sin embargo, cuando deseamos proteger un interruptor y varios transformadores, como es nuestro caso, es deseable montar los apartarrayos a una determinada distancia entre las terminales de los transformadores.

Un grupo de trabajo del AIEE (American Institute of Electrical Engineers), el cual forma un Comité de dispositivos de protección, propuso las distancias máximas de separación mostradas en la siguiente tabla:

DISTANCIA PERMITIDA DE SEPARACION ENTRE APARTARRAYOS

TIPO ESTACION Y TERMINALES DEL TRANSFORMADOR\*

CLASE DE AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR	NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO A IMPULSO (BIL)	DISTANCIA DE SEPARACION MTS.	
		NEUTRO DEL SISTEMA SIN ATERRIZAR O ATERRIZADO A TRAVES DE UNA RESISTENCIA (APARTARRAYOS A 100%)	NEUTRO DEL SISTEMA FIRMEMENTE ATERRIZADO (APARTARRAYOS A 80%)
KV	KV		
25	150	7.6	21.3
34.5	200	7.6	21.3
46	250	7.6	21.3
69	350	7.6	21.3
92	450	9.1	22.9
115	550	9.1	26
138	650	10.7	29

- 1.- Transformadores con aislamiento de aceite
- 2.- Conexión en V de los apartarrayos o equivalente
- 3.- Resistencia de la tierra despreciable
- 4.- Transformadores al final de una línea aérea, una sola acometida.

En nuestro caso, los transformadores son con aislamiento a 25 KV. y un Bil de 150 KV., y el neutro del sistema esta firmemente aterrizado, por lo que la distancia de separación será de 21.3 mts.

A continuación, se dan los datos de placa de los apartarrrayos:

Surge Arrester Westinghouse TYPE-IVL

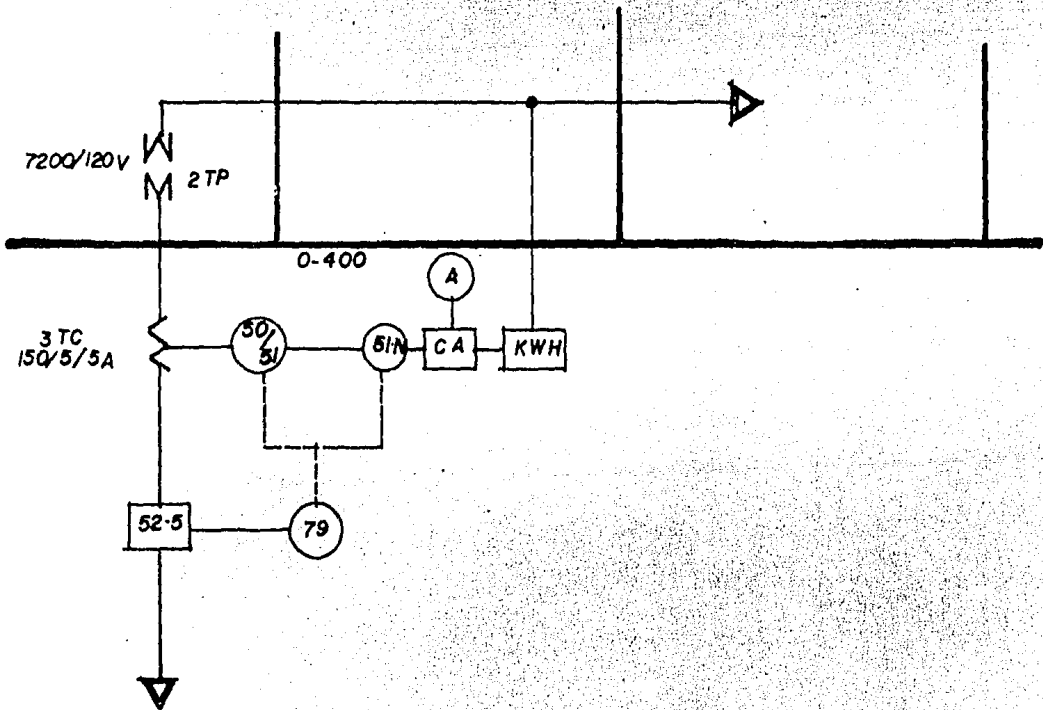
Voltaje Rating (Max. line to ground voltage) 24 KV.

Pressure Relief Class 3

Altitude: 001 a 10,000 ft.

### 3.3) PROTECCION EN BAJA TENSION

La zona de baja tensión protegida se muestra a continuación:



En esta zona se utilizan dos transformadores de Potencial de 7,200/120 Volts, para suministrar la tensión adecuada a los instrumentos de protección. Como los cuatro alimentadores tienen las mismas características, las protecciones son exactamente las mismas, por lo cual solo analizaremos la primera.

Para el cálculo de los TC's, se sustituyen los valores de potencia y de voltaje en la ecuación (1), por lo tanto:

$$I = 6250 (3) \div (6.3)$$

$$I = 572.768 \text{ Amp.}$$

Pero por tratarse de cuatro alimentadores tenemos que:

$$I_{AL} = 572.768/4$$

$$I_{AL} = 143.192 \text{ Amp.}$$

dónde:  $I_{AL}$  es la corriente por alimentador

Por lo cual se utilizarán TC's de 150/5 Amp. (CCONNIE)

Los relevadores que se utilizaron fueron:

Relevador 50: Es un relevador instantáneo de sobrecorriente o relevador de índice de crecimiento el cual funciona instantáneamente con un valor excesivo de crecimiento de corriente, indicando una falla en el circuito protegido.

Relevador 51: Es un relevador de sobrecorriente de tiempo inverso para corriente alterna y funciona cuando la corriente alterna del circuito excede a un valor predeterminado.

Relevador 51N: Este relevador tiene la misma operación -- que el anterior con la diferencia de que -- está conectado a tierra.

Relevador 79: Es un relevador de recierre en corriente alterna el cual controla el recierre del interruptor.

Como se dijo con anterioridad, los cuatro alimentadores son iguales, por lo cual cada uno de ellos llevará las protecciones antes señaladas, como se muestra en el plano.



### 3.4) RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.-

Los relés de protección del tipo OC son monofásicos, de disco de inducción, que se utilizan para las protecciones de sobreintensidad contra fallas entre fases o fallas a tierra - en los sistemas eléctricos.

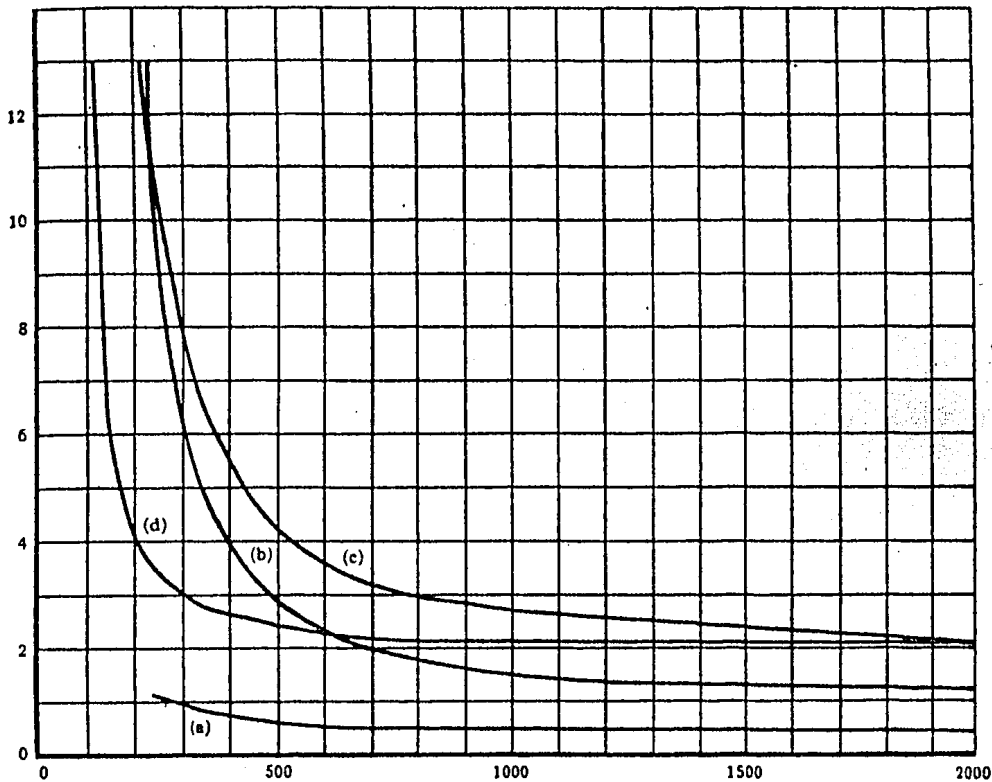
Consisten fundamentalmente en un núcleo magnético con - una bobina amperimétrica, el disco de inducción y un imán de freno cuyo conjunto, llamado "Unidad de Inducción", es de --- acción temporizada con retardo inverso, es decir, a mayor co- rriente de falla, menor tiempo de operación.

Estas protecciones se conectan en el secundario de los - TC's los cuales alimentan al relé con un corriente equivalen- te a la de línea.

A continuación se muestra una serie de curvas de varios tipos de relevadores de sobrecorriente de inducción:

- a) Tipo COH
- b) Tipo CO, muy inverso
- c) Tipo CO, inverso
- d) Tipo CO, estandar (mínimo tiempo definido)

En donde la ordenada esta dada en segundos y la absisa -  
en un porcentaje de corriente de Pick-Up.



Generalmente se emplean conjuntos de dos o tres relés para la protección de fallas entre fases y otro relé para la protección de las fallas a tierra.

Los relevadores de sobrecorriente, tienen una zona de ajuste para hacerlos adaptables a una gama de circunstancias de aplicación tan amplia como sea posible. Esta zona sin embargo, esta restringida por los límites de espacio de la bobina.

El ajuste de relevadores de inducción accionados por corriente es generalmente por tomas de las bobinas en donde los ampere-vuelta son los mismos para cada toma.

Las unidades de inducción se construyen para una gama de valores que cubre desde 0.1 a 16 amperes. La selección de la curva de actuación del relé se hace mediante un bloque de tomas con diversos valores y un dial de tiempo que cubre una gama continua de curvas.

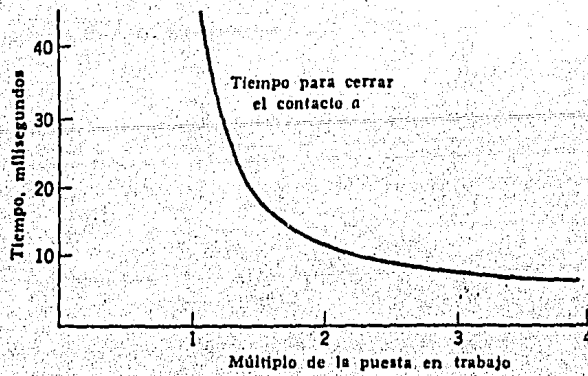
Los relés de sobreintensidad normalmente se calibran para que actuen con corrientes superiores a la de plena carga de la instalación a proteger y para que en las condiciones de máximo corto circuito, proporcionen una coordinación de tiempo.

pos en el disparo de los interruptores. Los intervalos de -- tiempo mínimos entre la actuación de los sucesivos relés, deben ser igual al tiempo que tarda el interruptor en despejar la falla desde que recibe la señal de actuación del relé, más el tiempo de sobremarcha del relé, y un margen de seguridad, el cual está comprendido entre 0.25 y 0.4 segundos.

El tiempo de funcionamiento de relevadores de inducción de tiempo inverso, es ajustable al seleccionar la cantidad -- del viaje del rotor de su posición de reposición a su posi--- ción de puesta en trabajo. Esto se lleva a cabo por el ajuste de la posición del tope de reposición. Una palanca de --- tiempo o disco de tiempo, con una escala dividida proporciona este ajuste.

A medida que el disco gira hacia la posición de puesta - en trabajo, el aumento en la cantidad del área del disco en-- tre los polos de la estructura actuante originan un aumento - en el par eléctrico que equilibra así el aumento en el par -- del resorte de control.

En la siguiente figura, se muestra una curva típica de - tiempo inverso de un relevador de alta velocidad.



La regulación de tiempos se selecciona para una aplicación concreta de acuerdo con los tiempos de operación de otros dispositivos de protección, para lograr una coordinación correcta con un tiempo mínimo de eliminación del corto circuito.

## CAPITULO 4.- SISTEMA DE TIERRAS

### 4.1) OBJETIVOS

Los principales objetivos en el diseño de las redes de tierra en las plantas y subestaciones eléctricas son:

- a) De protección
- b) De funcionamiento

### 4.2) FUNCIONES DE LA RED DE TIERRAS

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, ya sean debidas a una falla o a la operación de un pararrayo.

- Evitar que durante la circulación de estas corrientes de tierra, puedan producirse potenciales que puedan ser peligrosos para el personal.

- Facilitar mediante sistemas de relevadores la eliminación de las fallas a tierra en los sistemas eléctricos.

- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

#### 4.3) LIMITES DE CORRIENTE TOLERABLES POR EL CUERPO HUMANO

##### 4.3.1) EFFECTOS SOBRE EL CUERPO HUMANO

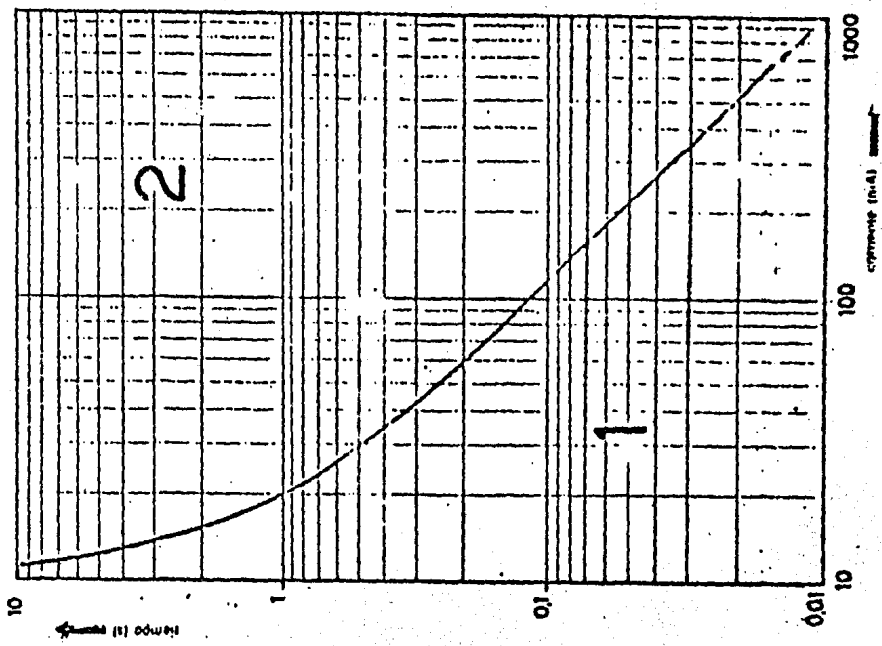
Corriente que atraviesa el cuerpo humano (mA)	E F E C T O S
hasta 1	Imperceptible para el hombre
2 a 3	Sensación de hormigueo
3 a 10	El sujeto consigue generalmente desprenderse del contacto (liberación). De todas formas la corriente no es mortal.
10 a 50	La corriente no es mortal si se aplica durante intervalos decrecientes a medida que aumenta su intensidad, de lo contrario los músculos de la respiración se ven afectados por calambres que provocan la muerte por asfixia
50 a 500	Corriente decididamente peligrosa, en función del contacto que da lugar a la fibrilación cardíaca (funcionamiento irregular con contracciones muy frecuentes). Posible defunción del sujeto.
más de 500	Decrece la posibilidad de fibrilación, pero aumenta el riesgo de muerte por parálisis de los centros nerviosos o a causa de fenómenos secundarios.

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

$$(lk)^2(t) = 0.0135$$

$$lk = \frac{0.116}{(t)^{1/2}} \text{ Amp.} \dots\dots\dots (1)$$

En dónde l es el valor efectivo de la corriente que circula por el cuerpo, en Amperes y t es el tiempo de duración del choque eléctrico en segundos 0.0135 es una constante de energía, derivada empíricamente.





1.- Zona estadísticamente no peligrosa para la integridad física de las personas.

2.- Zona peligrosa siguiendo la variación de la curva -- desde arriba hacia abajo se pasa el peligro de tetanización -- al de asfixia y luego a la fibrilación cardiaca.

Las condiciones de altas corrientes a tierra en instalaciones eléctricas, debidas a disturbios atmosféricos o a fallas del equipo, obligan a tomar precauciones para que los -- gradientes eléctricos resultantes no ofrezcan peligro a los -- operarios.

Se pueden presentar diferentes casos al hacer contacto con superficies a diferencia de potencial. Las diferencias -- de potencial tolerables se determinana de acuerdo con los con -- ceptos de tensión de paso, de contacto y de transferencia.

En los siguientes circuitos se incluyen las resistencias del sistema de electrodos de tierra ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_0$ ), las resis-- tencias de contacto de la mano y la de los zapatos, la resis-- tencia  $R_F$  del terreno inmediato debajo de cada pie y la resis-- tencia del cuerpo  $R_k$ . Para fines prácticos se considera  $R_F$ .

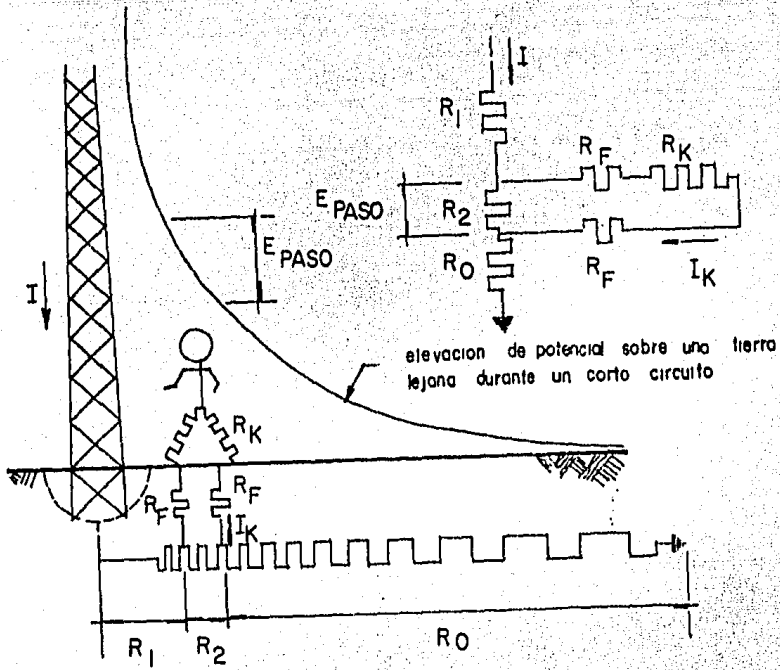
$R_F = 3 \rho$  s para cada pie, donde  $\rho$  s, es la resistencia superficial (ohm-m), que toca cada pie.

El valor de la resistencia del cuerpo humano  $R_k$ , es variable recomendándose tomar 1,000 ohms para la resistencia entre los dos pies y entre pies y manos.

#### 4.3.2) TENSION DE PASO

La tensión de paso, es la tensión que durante el funcionamiento de una instalación de tierra puede resultar aplicada entre los pies de una persona situados a la distancia de un - paso (1 metro).

En la figura 1, se muestra el circuito equivalente de la tensión de paso.



TESIS PROFESIONAL	JSM
FACULTAD DE INGENIERIA	RCG
	ECS
	HPS
TENSION DE PASO	JVA
Fig.1	JLV

$$E_{\text{paso}} = (R_k + 2 R_F) I_k$$

Sustituyendo los valores de  $R_k$ ,  $R_F$  y la ecuación (1)

$$E_{\text{paso}} = (1,000 + 6 \text{ } \Omega) \frac{0.116}{(t)^{1/2}}$$

$$E_{\text{paso}} = \frac{116 + 0.7 \text{ } \Omega}{(t)^{1/2}} \text{ volts} \dots\dots\dots (2)$$

- Dónde:  $R_k$  - Resistencia del cuerpo  
 $R_F$  - Resistencia del terreno inmediato debajo de cada pie  
 $I_k$  - Corriente a través del cuerpo  
 $R_1, R_2, R_0$  - Son los electrodos de tierra  
 $I$  - Corriente de falla

4.3.3) TENSION DE CONTACTO

Es aquella tensión a la que puede verse sometido el cuerpo humano como consecuencia de un contacto con las carcasas y estructuras metálicas de máquinas, e instalaciones que normalmente no se hallan bajo tensión pero que, eventualmente pueden estarlo a consecuencia de alguna avería interna.

La figura 2 muestra el circuito equivalente de la dife--

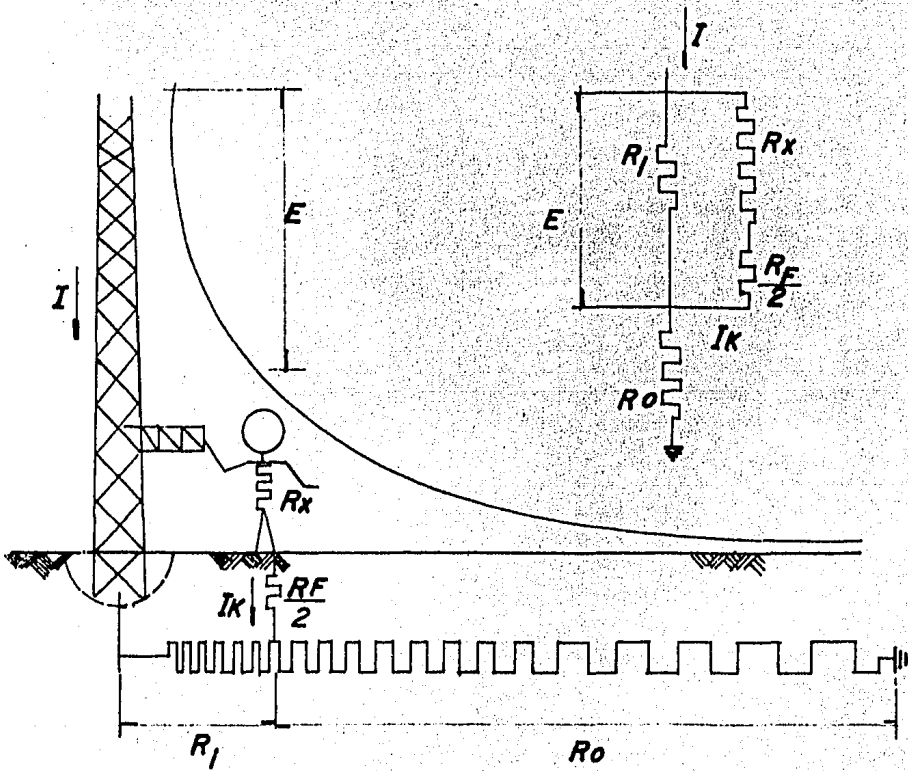
rencia de potencial para un circuito entre la mano y los dos pies.

$$E_{\text{contacto}} = (R_k + R_F/2) I_k$$

Sustituyendo;

$$E_{\text{contacto}} = (1,000 + 1.5 \text{ } \Omega) \frac{0.116}{(t)^{1/2}}$$

$$E_{\text{contacto}} = \frac{116 + 0.17 \text{ } \Omega}{(t)^{1/2}} \text{ volts } \dots \dots \dots (3)$$

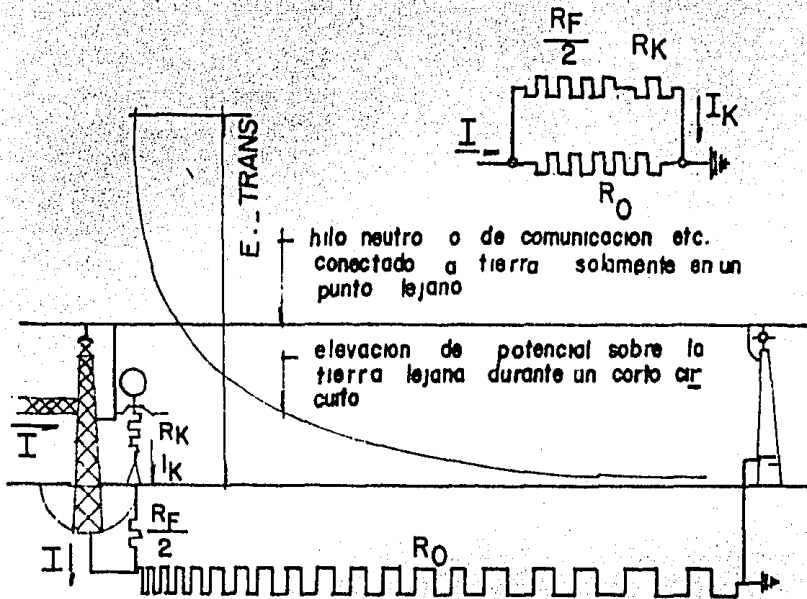


TESIS PROFESIONAL FACULTAD DE INGENIERIA	JSM RCG ECS HPS
TENSION DE CONTACTO Fig. 2	JVA JLV

#### 4.3.4) TENSION DE TRANSFERENCIA

Tensión total de tierra.- Es el producto de la resistencia de tierra ( $R_t$ ) de la instalación objeto del análisis, por la corriente de tierra ( $I_t$ ) que dicha instalación esta destinada a dispersar. ( $V_t$ ).

$$V_t = (R_t) (I_t)$$



TESIS PROFESIONAL	JSM
FACULTAD DE INGENIERIA	RCG
	ECS
	HPS
TENSION DE TRANSFERENCIA	JVA
	JLV



#### 4.4) ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TIERRAS

##### 4.4.1) CONDUCTORES

Se utiliza cobre por su mejor conductividad, tanto eléctrica como térmica así como su resistencia a la corrosión.

##### 4.4.2) ELECTRODOS

Son las varillas que se clavan en el terreno y que sirven para encontrar zonas más húmedas y por lo tanto, con menor resistividad, con el objeto de mantener a potencial de tierra los conectores conectados a ellas y se disipan en el terreno las corrientes que recoge.

Los electrodos son varillas de copperweld, que consiste en una varilla de fierro. Este material combina las ventajas del cobre con la alta resistencia del fierro. Tiene buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión, buena resistencia mecánica para ser clavada en el terreno y se puede conectar a los cables de la red de tierras a través de los conectores.

#### 4.4.3) BARRAS PARA PARARRAYOS.

Son el conjunto de electrodos que se instalan sobre la parte más elevada de las estructuras de una subestación y que sirven para complementar la red de cables de guarda que se extienden sobre los copetes de las estructuras de las subestaciones, para proteger a éstas de posibles descargas directas de los rayos.

#### 4.4.4) CONECTORES Y ACCESORIOS

Son aquellos elementos que nos sirven para unir a la red de tierras, los electrodos profundos, las estructuras, los neutros de los transformadores, etc.

Existen tres tipos de conectores:

a) Conector mecánico.- Está formado por dos partes, las cuales se unen por medio de tornillos. Se caracteriza por su facilidad de instalación, se pueden desconectar de la red de tierras para poder realizar mediciones, y presenta algunos problemas de corrosión.

b) Conector de presión.- Son fáciles de instalar y económicos pero presentan problemas de corrosión, así como de no poderse desconectar de la red para hacer mediciones.

c) Conector soldable.- Con este tipo de conector se tiene una conexión permanente, lo que permite eliminar resistencia de contacto.

No tiene medio para desconectarlo y poder hacer mediciones en la red, y se utiliza en donde el conductor de tierra, no va a ser separado de los equipos.

#### 4.5) CARACTERISTICAS DEL TERRENO.-

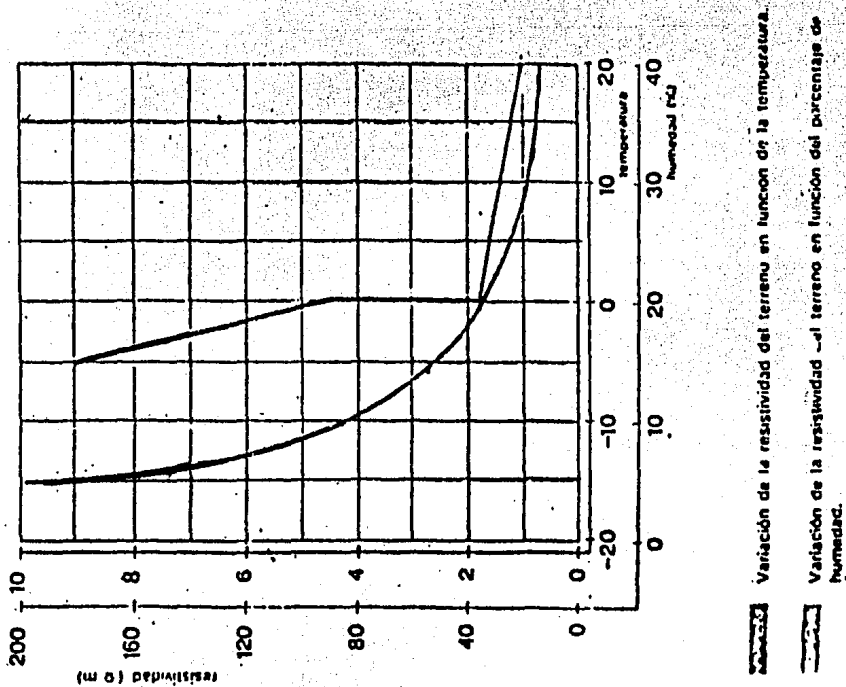
##### 4.5.1) VALORES TIPICOS.-

Resistividad ohms-metro	Tipo de Terreno
10 a 100	Terreno orgánico tipo húmedo.
100 a 200	Terreno orgánico pero no húmedo.
400 a 800	Terreno guijoso
1,000 o más	Terreno rocoso

#### 4.5.2) VARIACION CON LA TEMPERATURA Y GRADO DE HUMEDAD.-

La resistividad del terreno varía con la temperatura y el grado de humedad. Por lo tanto, no es aconsejable efectuar mediciones de la resistencia de la instalación de tierra cuando la temperatura es excesivamente alta o cuando el terreno está impregnado de agua debido a lluvias recientes.

Las mediciones deben incluir datos sobre temperatura y condiciones de humedad en el momento de efectuarlas, tipo de terreno, profundidad de la medición y concentración de sales en el suelo.



#### 4.5.3) MEDICION DE LA RESISTIVIDAD.-

La resistividad  $\rho$  del terreno, se mide por medio del procedimiento siguiente:

Aparatos y equipo.-

- Megger de tierra o el Vibroground
- Electrodo: Los electrodos normalmente son; 4 varillas de 15.9 mm de diámetro y su longitud puede variar de 750 mm. a 1,000 mm.. El diámetro de las varillas debe ser menor cuando el suelo sea suave, o cuando se requiera medir la resistividad superficial con pequeña separación entre varias.
- Cables: Cable de cobre con aislamiento para 600 V, calibre 14 AWG o mayor. La longitud depende de la separación máxima entre electrodos que se desea medir.
- 4 conectores mecánicos de grapa.
- Cinta métrica.

Método de medición.-

Para la medición de la resistividad, se debe utilizar el método de 4 electrodos, el cual consiste en lo siguiente:

- a) Clavar 4 varillas en el suelo a una profundidad de --

200 a 300 mm., dispuestas en línea recta con una separación - uniforme entre ellas. Se debe procurar que las varillas queden más o menos en un plano horizontal y no debe haber huecos alrededor de las varillas.

b) Las terminales de corriente del instrumento C1 y C2, se conectan a través de los cables a las varillas de los extremos, las de potencial P1 y P2, a las varillas intermedias como se indica en la figura 4.

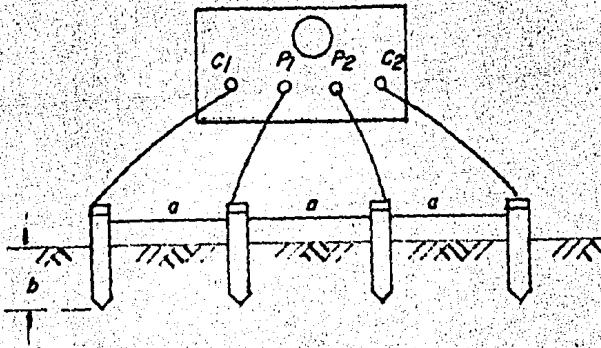
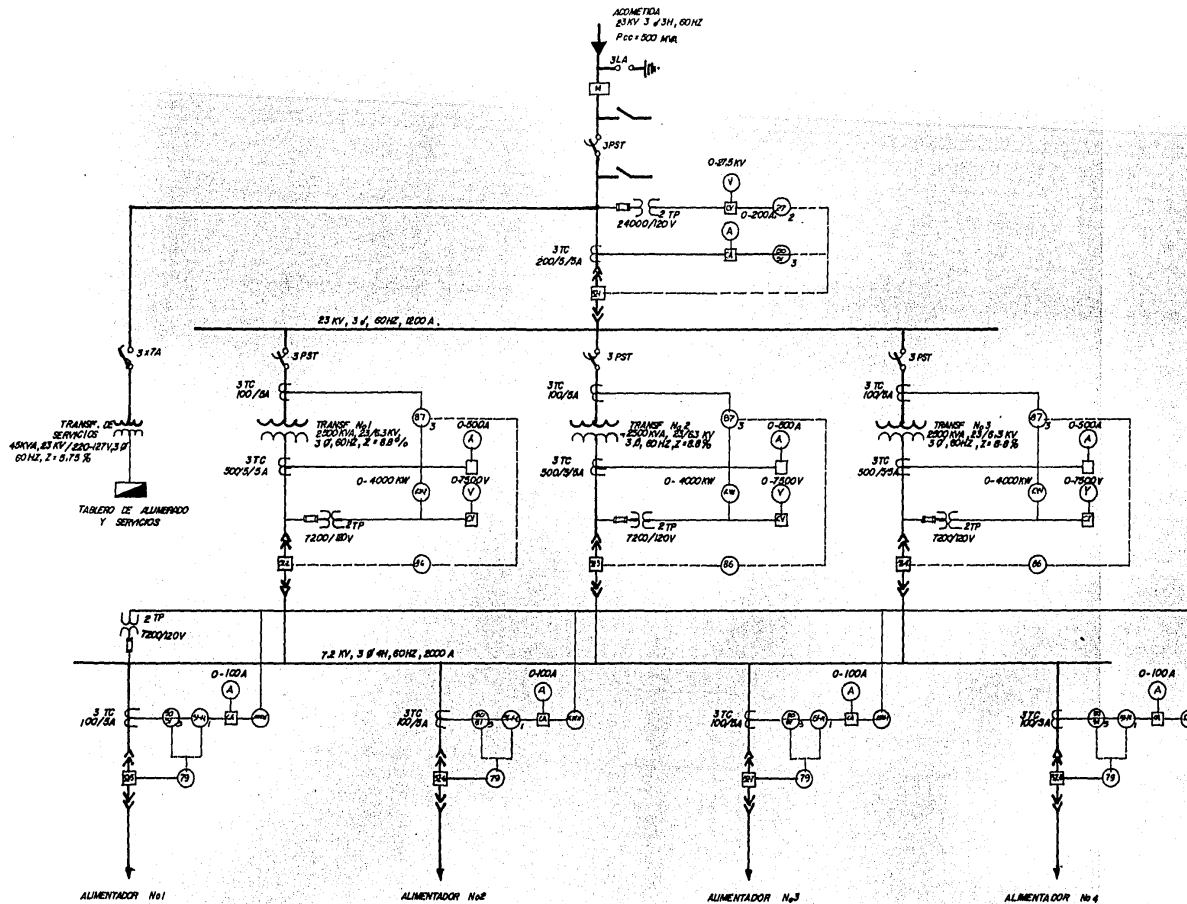


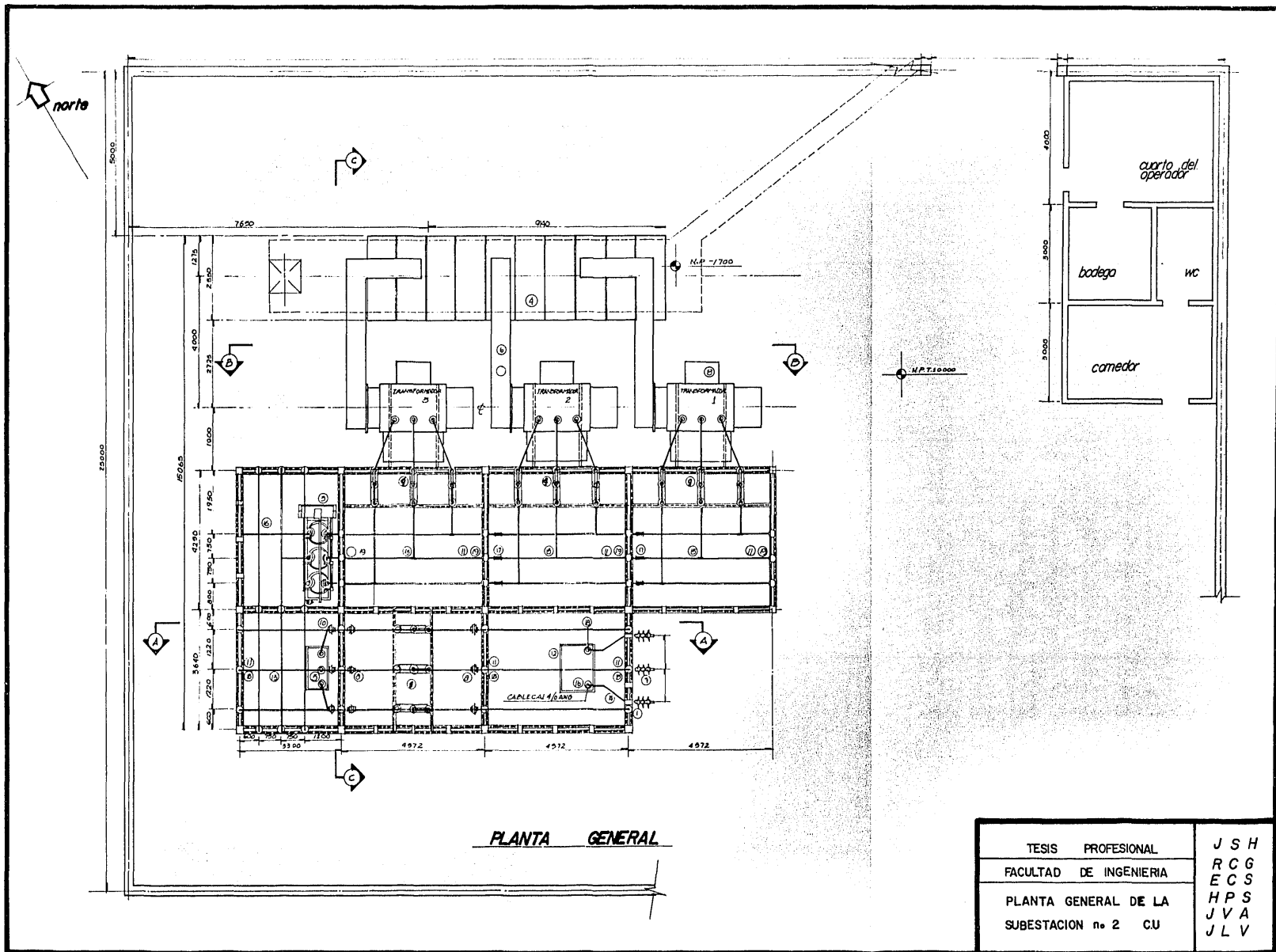
Fig. 4

a - Separación entre electrodos

b - Profundidad a la que se entierran los electrodos



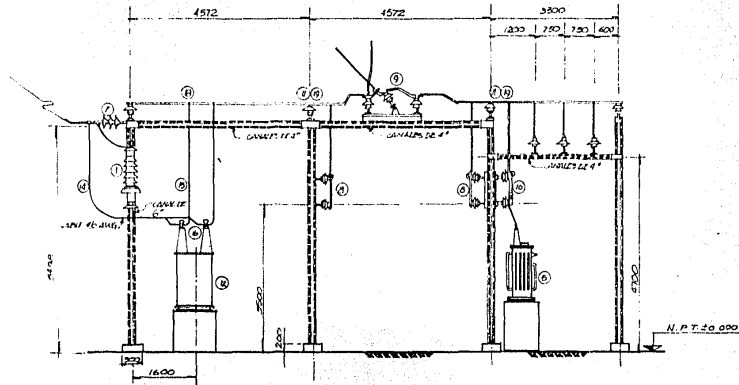
TESIS PROFESIONAL	JSH
FACULTA DE INGENIERIA	RCG
	ECS
	HPS
DIAGRAMA UNIFILAR	JVA
	JLV



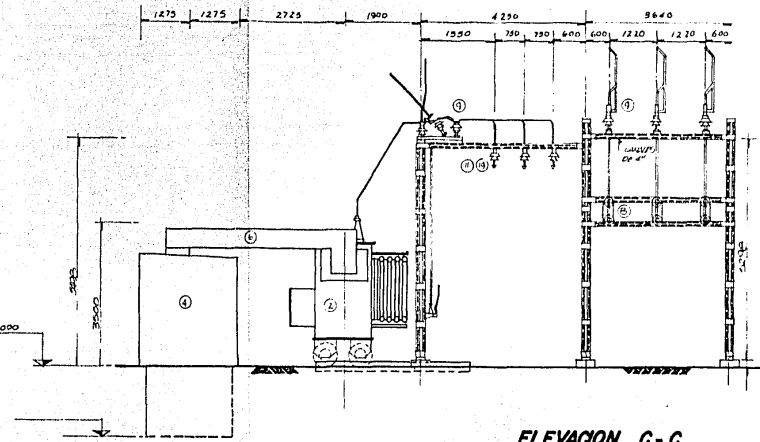
**PLANTA GENERAL**

TESIS PROFESIONAL	J S H
FACULTAD DE INGENIERIA	R C G
	E C S
PLANTA GENERAL DE LA	H P S
SUBESTACION No. 2	J V A
CU	J L V

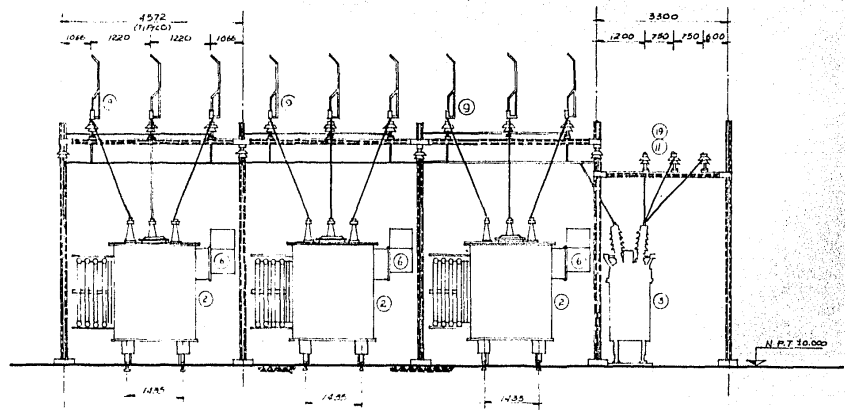




**ELEVACION A-A**

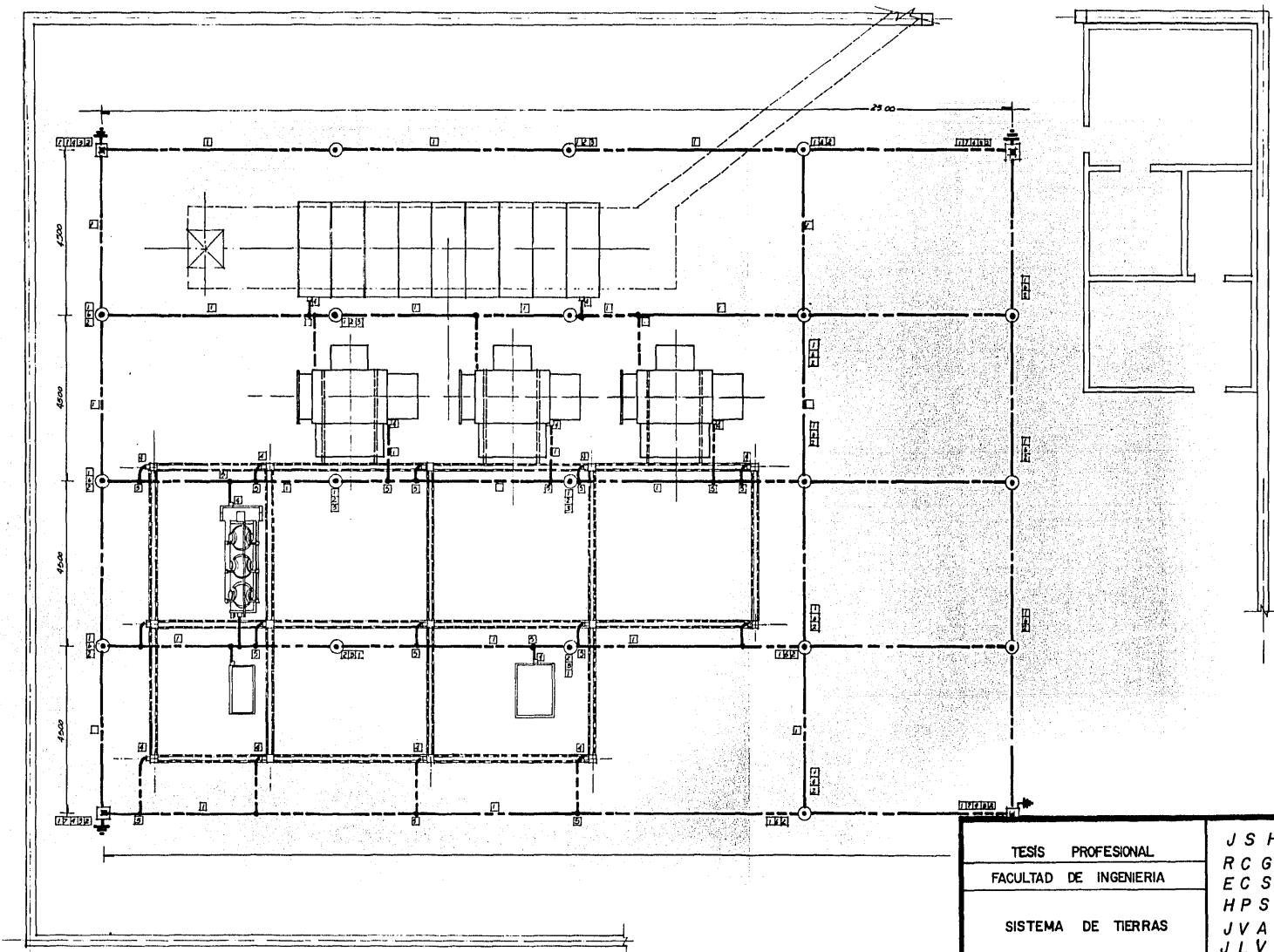


**ELEVACION C-C**



**ELEVACION B-B**

TESIS PROFESIONAL	J. S. H.
FACULTAD DE INGENIERIA	R. C. G.
ELEVACION DE LA	E. C. S.
SUBSTACION n° 2	H. P. S.
	J. V. A.
	J. L. V.



TESIS PROFESIONAL	J S H
FACULTAD DE INGENIERIA	R C G
	E C S
	H P S
SISTEMA DE TIERRAS	J V A
	J L V

	TABLERO		RELEVADOR DE BLOQUEO
	ACOMETIDA		RELEVADOR DIFERENCIAL DE PROTECCION
	APARTARRAYOS		AMPERIMETRO
	EQUIPO DE MEDICION SUMINISTRADO POR C.F.E.		VOLTMETRO
	CUCHILLA DE PRUEBA UN POLO UN TIRO		KILOWATTMETRO
	CUCHILLA DESCONECTADORA CON CUERNOS DE ARQUEO DE TRES POLOS, UN TIRO		KILOWATTHORIMETRO
	CUCHILLA FUSIBLE DE UN POLO, UN TIRO		CONMUNTADOR AMPERMETRO
	INTERRUPTOR PRINCIPAL CLAVE DEL TIPO DE INTERRUPTOR		CONMUNTADOR VOLTMETRO
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA		TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CON FUSIBLE DE PROTECCION
	TRANSFORMADOR DE SERVICIOS		TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	ELECTRODUCTO		VARILLA DE TIERRAS SIN REGISTRO
	RELEVADOR DE BAJO VOLTAJE		REGISTRO PARA SISTEMA DE TIERRAS CON ESTRELLA DE TRES PUNTAS
	RELEVADOR INSTANTANEO DE SOBRECARGA		CABLE DE COBRE DESNUDO, SEMIDURO, CALIBRE SEGUN SE MUESTRA EN CADA PLANO CORRESPONDIENTE A TIERRAS
	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE		INDICA TIPO DE CONECTOR SEGUN LISTA DE MATERIALES
	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE FALLA A TIERRA AL NEUTRO		
	RELEVADOR DE RECIERRE AUTOMATICO		

TESIS PROFESIONAL	J S H
FACULTAD DE INGENIERIA	R C G
SIMBOLOGIA	E C S
	H P S
	J V A
	J L V

c) Se energiza el instrumento (de acuerdo a su instructivo), y se toman las lecturas respectivas de resistencia en -- ohms.

d) Se calcula la resistividad mediante la formula:

$$\rho = 2 \pi a R$$

Dónde: R - Resistencia media en ohms

a - Separación entre electrodos, en metros

$\rho$  - Resistividad del suelo, en ohms-metro

Normalmente, se considera que se mide hasta una profundidad igual a la separación entre electrodos.

La formula anterior es válida solamente si la distancia, entre electrodos a es mayor que la profundidad b, a la que se entierran las varillas (Aprox.  $a = 10b$ ).

En el caso que  $a = b$  se debe usar la fórmula general:

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{n}$$

Dónde n tiene un valor entre 1 y 2, dependiendo de la relación b/a como se indica a continuación:

Cuando:  $b = a$        $n = 1.187$

$b = 2a$        $n = 1.038$

$b = 4a$        $n = 1.002$

Si  $b$  es muy pequeña comparada con  $a$ , entonces se usa: --

$C = 2 \pi aR$ , como se indica.

#### Procedimientos de campo.-

a) En el área que se desea medir la resistividad, se trazan 2 líneas de prueba como se indica en la figura 5. Pueden escogerse L1 y L2 ó L3 y L4 o ambas si se requiere mayor información, dependiendo del tamaño del terreno.

b) Medir la resistencia  $R$  en cada línea de prueba con el método de medición indicado en el punto, comenzando en el centro de la línea y variando cada vez la separación entre electrodos como se indica en la figura 6.

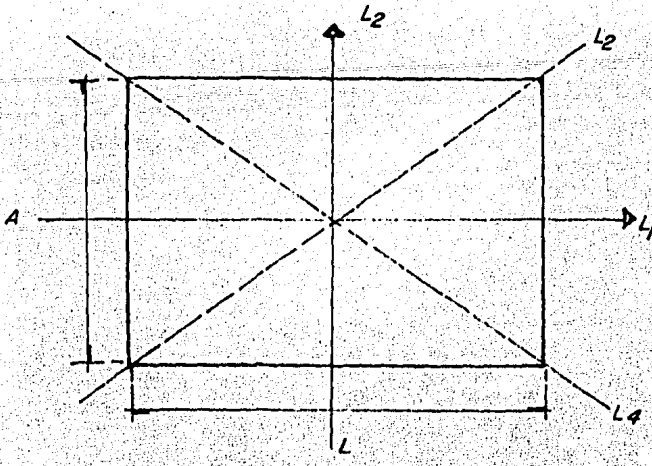


Fig. 5

- a1 = 2m
- a2 = 4
- a3 = 8
- a4 = 12
- a5 = 16
- a6 = 20
- a7 = 24
- a8 = 28
- a9 = 32
- an = 0.5L

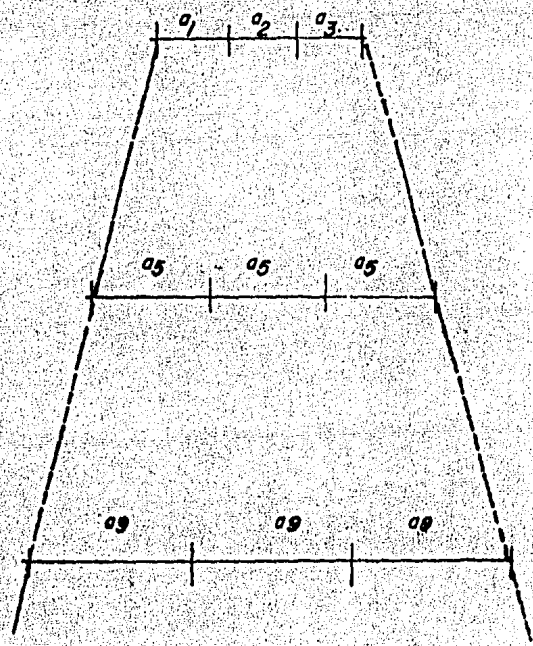


Fig . 6

El número de mediciones se limita normalmente hasta  $a = 0.5L$ , por ejemplo si  $L = 100$  m la  $a$  máx. = 50 m. y sería necesario realizar 5 mediciones más aumentando cada vez 4m.. En subestaciones pequeñas, el número de mediciones debe ser menor.

c) Repetir el punto b para la otra línea de prueba

d) Calcular la resistividad con  $\rho = \frac{R}{aR}$

e) Reportar los resultados como se indica en la tabla 1.

Tabla 1

Separación entre vari llas	Líneas de prueba	
	1	2
a1	11	21
a2	12	22
a3	13	23
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
a9	19	29

#### 4.6) DISEÑO DEL SISTEMA DE TIERRAS

Método de Cálculo.- Este método de cálculo está encaminado, a dar una solución práctica al diseño del sistema de tierras basado en establecer límites seguros de diferencias de potencial que puedan existir en una subestación bajo condiciones de falla, entre puntos que pueden ser tocados por algún ser humano.

##### 4.6.1) DISEÑO PRELIMINAR.-

Un cable debe bordear el perímetro de la malla para evitar concentraciones de corrientes y por lo tanto, gradientes altos en los extremos de los cables. Para formar la malla se colocan cables paralelos en lo posible, a distancias uniformes y a lo largo de las estructuras o alineamientos del equipo, para facilitar las conexiones.

El diseño preliminar debe ajustarse de tal manera, que la longitud total de los conductores enterrados, incluyendo las varillas, sean cuando menos igual a la calculada con la ecuación de la longitud total (ecuación 5), para que las diferencias de potencial locales permanezcan dentro de los límites tolerables.



Cada uno de los elementos del sistema de tierra, incluyendo los conductores de la malla, las conexiones y los electrodos, deberán ser diseñados de tal manera que:

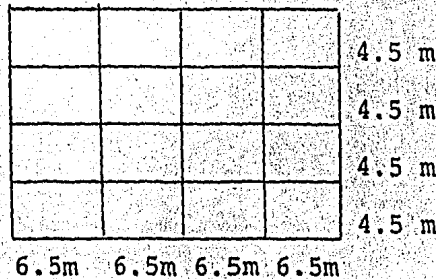
a) Las uniones eléctricas no se fundan o deterioren en las condiciones más desfavorables de magnitud y duración de la corriente de falla.

b) Los elementos sean mecánicamente resistentes en un alto grado, especialmente en lugares expuestos a daños físicos.

c) Tengan suficiente conductividad, para que no contribuyan a diferencias de potencial locales peligrosas.

#### 4.6.2) CALCULO DE LA RED.

El área cubierta por la red de tierras es de 6 metros de largo, y 18 metros de ancho. Con esta dimensiones, podemos elegir la configuración de la malla, quedando de la siguiente manera:



Con lo que la longitud total de la malla es:

5 conductores de 18 metros.....	90 m
5 conductores de 21 metros.....	130 m
25 varillas de 3 metros .....	<u>75 m</u>
Longitud total de la malla	295 m

4.6.3) DETERMINACION DE LA CORRIENTE MAXIMA DE FALLA A TIERRA.-

La corriente máxima de falla a tierra, se determinó en el capítulo 3 en el cual se obtuvo una corriente de corto circuito de 12.5 KAS.

La corriente de falla debe corregirse por un factor de decremento, ya que al ocurrir una falla se origina una corriente transitoria, la cual debe de tomarse en cuenta para mayor seguridad. Tomando una duración de la falla de 0.5 segundos se tiene un factor de decremento de 1, y para otros casos se puede calcular en la tabla 2.

Tabla 2

Duración de la falla y del choque eléctrico t seg.	Factor de decremento
0.08	1.65
0.10	1.25
0.25	1.10
0.5 o más	1.10

#### 4.6.5) CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR.-

La ecuación de Onderdonk, permite determinar el calibre del conductor y las uniones adecuadas.

$$A = I / [ (\text{Log} / (T_m - T_a) / (234 + T_a) + 1) / (33) (s) ]^{1/2} \dots\dots\dots 4$$

Donde: I - Corriente de corto Circuito en amperes

A - Sección del conductor en circular mils

S - Tiempo durante el cual circula la corriente I en seg.

T<sub>m</sub>- Temperatura máxima permisible, en ° C

T<sub>a</sub>- Temperatura ambiente, en ° C

Sustituyendo S=0.5 seg, T<sub>m</sub>=250° C, T<sub>a</sub>=40° C en la ecuación 4 tenemos:

$$A = 12500 / ( (\text{log} / (( 250 - 40) / (234 + 40) + 1) / (33) (05) )^{1/2}$$

$$A = 102145.72 \text{ CM}$$

Para una sección de 102145.72 CM de la tabla 3 (+) corresponde un calibre de 1/0 AWG, pero por razones mecánicas, y por tener un subsuelo de roca volcánica se utilizará el calibre 4/0-AWG.

(+) Gráficas y tablas para el cálculo de Líneas de Transmisión y subestaciones.

—CHARACTERISTICS OF COPPER CONDUCTORS, HARD DRAWN, 97.3 PERCENT CONDUCTIVITY



Size of Conductor Circular Mils	Area Sq. In.	Diameter of Individual Strands Inches	Outside Diameter Inches	Breaking Strength Pounds	Weight Pounds per Mile	Approximate Current-Carrying Capacity Amperes	Conductor Length Miles per 1000 Feet	Resistance Ohms per Conductor per Mile						Inductive Reactance Ohms per Conductor per Mile						Shunt Capacitive Reactance Megohms per Conductor per Mile					
								25°C. (77°F.)			50°C. (122°F.)			25		50		60		25		50		60	
								d-c	25 cycles	50 cycles	d-c	25 cycles	50 cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles	cycles
1 000 000	...	37.0	184.4	1.51	43 830	10 303	3.40	0.01678	0.02650	0.0210	0.0205	0.031	0.06480	0.0418	0.0375	0.0385	0.1515	0.333	0.470	0.216	0.10310	0.0671			
700 000	...	37.0	137.50	0.63	31 170	11 410	3.10	0.0208	0.0317	0.0245	0.0240	0.037	0.0750	0.0475	0.0430	0.0440	0.1735	0.352	0.477	0.233	0.11735	0.0717			
500 000	...	37.0	127.70	0.91	27 030	9 781	3.10	0.0254	0.0374	0.0285	0.0280	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
400 000	...	37.0	117.20	0.81	22 510	8 151	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
300 000	...	37.0	107.20	0.91	18 000	6 810	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
200 000	...	37.0	97.20	0.91	13 500	5 100	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
150 000	...	37.0	87.20	0.91	9 000	3 400	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
100 000	...	37.0	77.20	0.91	4 500	1 700	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
75 000	...	37.0	67.20	0.91	3 000	1 100	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
50 000	...	37.0	57.20	0.91	1 500	550	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
37 500	...	37.0	47.20	0.91	750	275	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
25 000	...	37.0	37.20	0.91	375	137	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				
12 500	...	37.0	27.20	0.91	187	68	3.10	0.0260	0.0380	0.0290	0.0285	0.043	0.0850	0.0540	0.0495	0.1900	0.360	0.477	0.241	0.12040	0.0764				

\* For conductor at 75°C., air at 25°C., wind 1.4 miles per hour (2 f.p.s.), frequency=60 cycles.

Tabla 3

4.6.5) CALCULO DE LA LONGITUD TOTAL DE LA MALLA.-

Para obtener un voltaje de malla dentro de los límites de seguridad, se requiere que la malla tenga por lo menos --- la longitud dada por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{K_m K_i \rho I (t)^{1/2}}{116 + 0.17 \rho_s} \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:  $\rho$  - Resistividad del terreno natural, en nuestro caso fue de 150 ohm-m

$\rho_s$  - Resistividad del terreno, siendo ésta de --- 1,000 ohm-m

$K_m$  - Es un coeficiente que toma en cuenta el efecto del número de conductores paralelos  $n$ , el espaciamiento  $D$ , el diámetro  $d$ , y la profundidad del enterramiento  $h$  de los conductores -- que forman la red.

$$K_m = \frac{1}{2\eta} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\eta} \ln(3/4 \times 5/6 \times 7/8 \times \dots \frac{2n-3}{2n-2}) \dots (6)$$

$$D = \frac{\text{Ancho de la red}}{\text{N}^\circ \text{ de cond. lado largo} - 1}$$

Evaluando tenemos:

$$D = \frac{18}{5 - 1} = 4.5 \text{ m}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(4.5)^2}{(16)(0.7)(0.013)} + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3/4 \times 5/6 \times 7/8 \times (2)(5) - 3}{(2)(5) - 2} \right)$$

$$K_m = 0.5934$$

$K_i$  = Es un factor de corrección por irregularidad para tomar en cuenta el flujo de corriente no uniforme de partes diversas de la red. Puede calcularse con la siguiente ejecución.

$$K_i = 0.65 + 0.172 n \dots\dots\dots (7)$$

Sustituyendo valores

$$K_i = 0.65 + 0.172 (5)$$

$$K_i = 1.51$$

$t$  = Tiempo de duración de la falla, para nuestro caso es de -- 0.1 seg.

Para evaluar  $L$  sustituimos los valores correspondientes:

$$D = \frac{(0.5934) (1.51) (150) (12,500) (0.1)}{116 + (0.17) (10,000)}$$

L = 292.55 metros

Por lo que se cumple que L diseño > L calculada

$$295 > 292.55$$

4.6.6) Cálculo de la resistencia de la red.-

La Resistencia de la red la podemos calcular con la siguiente expresión;

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \dots\dots\dots (8)$$

- Dónde: R - Resistencia del sistema de tierras
- $\rho$  - Resistividad del terreno en ohm-m
- r - Radio del circulo que tenga la misma área que la ocupada por el sistema de tierras.

$$r = \frac{(A)}{\pi}^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

L - Longitud total de los conductores del sistema de tierras.

Sustituyendo tenemos:

$$r = \left( \frac{360}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 10.70 \text{ m}$$

$$R = \frac{150}{(4)(10.7)} + \frac{150}{295}$$

$$R = 4.013 \text{ ohm}$$

#### 4.6.7) EFEECTO DE LOS HILOS DE GUARDA.-

Cuando los hilos neutros de las líneas aéreas, quieren ser conectados a la malla de tierra de la subestación, debe de tomarse en cuenta que estos desvían una porción apreciable de la corriente de falla restándosela al sistema de tierras. En vista de que la corriente a tierra se divide en proporción inversa a las resistencias de la malla y de los hilos aéreos, se hace necesario establecer sus valores aunque sea aproximadamente.

Un hilo de guarda de una línea que esté conectado a tierra, en muchos puntos, se comporta como un conductor con una impedancia longitudinal  $Z_1$  y con una conductancia transversal  $1/R_2$  y si la línea es de una longitud suficientemente grande, la impedancia equivalente es independiente de la longitud y se puede calcular por:

$$Z = (Z_1)(R_2)$$



4.6.8) CALCULO DE LA TENSION DE PASO.-

El aumento de potencial de la red sobre un punto remoto de la tierra es  $E = RI$ . Debido a la alta elevación es necesario hacer una comprobación de los potenciales locales. Para calcular el potencial de paso en la periferia en la malla, se aplica la siguiente ecuación:

$$E_{paso} = K_s K_i \rho I/L \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:  $K_s$  - Es un coeficiente que toma en cuenta el efecto del número de conductores  $n$ , el espaciamiento  $D$  y la profundidad de enterramiento  $h$  de los conductores de la malla.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots\dots + \frac{1}{(n-1)D} \right) \dots (11)$$

Sustituyendo:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{(2)(0.7)} + \frac{1}{(4.5)+(0.7)} + \frac{1}{(2)(4.5)} + \frac{1}{(3)(4.5)} + \frac{1}{(5-1)(4.5)} \right)$$

$$K_s = 0.365$$

Evaluando  $E_{paso}$

$$E_{\text{paso}} = (0.365)(1.51)(150)(12,500)/295$$

$$E_{\text{paso}} = 3503.072 \text{ volts.}$$

#### 4.6.9) CALCULO DE LAS TENSIONES TOLERABLES.-

Tensión de paso tolerable:

$$E_{\text{tol}} = \frac{116 + 0.7 \rho_s}{(t)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (12)$$

$$E_{\text{tol}} = \frac{116 + (0.7)(10,000)}{(0.1)^{\frac{1}{2}}} = 22502.76 \text{ volts}$$

Tensión de contacto tolerable:

$$E_{\text{con}} = \frac{116 + 0.17 \rho_s}{(t)^{\frac{1}{2}}}$$

$$E_{\text{con}} = \frac{116 + (0.170)(10,000)}{(0.1)^{\frac{1}{2}}} = 5932.43 \text{ volts}$$

#### 4.6.10) COMPROBACION DE LA MALLA.-

La tensión de paso en la malla debe ser menor o igual -- que la tensión de paso tolerable.

$$\text{Epasso} < \text{Etol}$$

$$3503.072 < 22502.76$$

La tensión máxima de malla debe ser menor que la tensión de contacto tolerable.

$$\text{Tensión de malla} = K_m K_i \frac{e I}{L} \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{Etol} = \frac{116 + 0.17 e_s}{(t)^{1/2}}$$

Por lo que se debe cumplir

$$\frac{K_m K_i e I}{L} (t)^{1/2} - 0.17 e_s < 116$$

$$\frac{(0.5934) (1.51) (150) (12,500) (0.1) - (0.17) (10,000)}{295} < 116$$

$$100.95 < 116$$

Por lo tanto, podemos concluir que la malla es segura.

## CAPITULO 5.- CALCULO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO

El sistema de alumbrado en una subestación tipo exterior es de vital importancia para el buen desarrollo de las funciones de mantenimiento y operación del equipo instalado.

Por lo anterior, consideramos establecer dos zonas por iluminar:

- 1.- Zona de buses, cuchillas y apartarrayos
- 2.- Superficie total de la subestación

Para la primera zona, estableceremos un nivel de iluminación de 200 luxes; para la segunda, un nivel de 150 luxes.

Estos niveles fueron establecidos tomando como referencia, los valores para instalaciones tipo exterior, proporcionados por la sociedad Mexicana de Ingeniería en Iluminación (SMII) y el Illuminating Engineering Society (IES).

### 5.1) ILUMINACION DE BUSES CUCHILLAS Y APARTARRAYOS.-

Las características que se requieren del luminario, entre otras, es la proporción de una distribución de luz hacia la parte donde se localizan éstos elementos, con la mayor efi

ciencia posible.

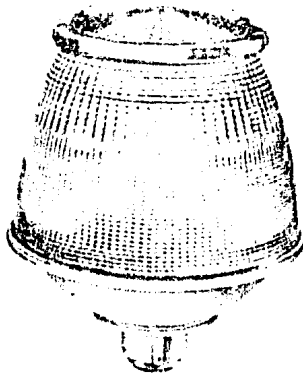
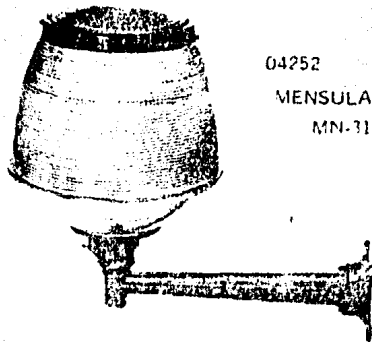
Por lo anterior, seleccionamos el siguiente luminario de finido a continuación:

Tipo de Unidad.- Luminario marca Holophane para subestación tipo exterior N° catálogo 04252

Lámpara.- Vapor de sodio alta presión

Potencia.- 100 Watts.

Lumenes.- 9,500



## CALCULOS.-

El método empleado es el cálculo punto por punto, para obtener el número de luminarios necesarios para cierto nivel de iluminación requerido, empleamos la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ luminarios} = \frac{E \times A}{\phi \times CU \times FM}$$

dónde: E - Nivel de iluminación (luxes)

A - Superficie de la zona a iluminar (m<sup>2</sup>)

$\phi$  - Flujo por lámpara (lúmenes)

CU - Coeficiente de utilización (adimensional)

FM - Factor de mantenimiento (adimensional)

De los datos del fabricante del luminario obtenemos un coeficiente de utilización de CU = 0.48

Para obtener el factor de mantenimiento, consideramos los siguientes factores:

Despreciación por limpieza = 0.6

Depreciación de la lámpara = 0.7 por lo tanto,

FM = 0.6 x 0.7 = 0.42

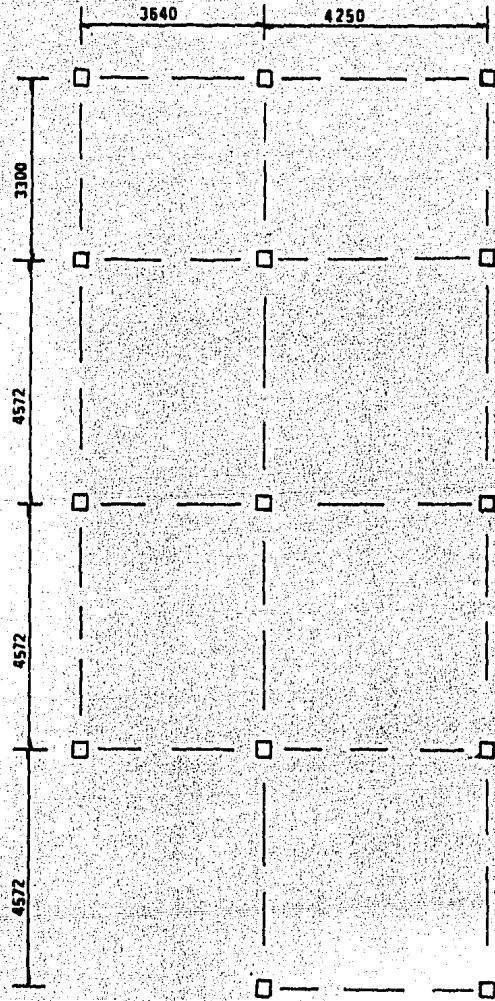
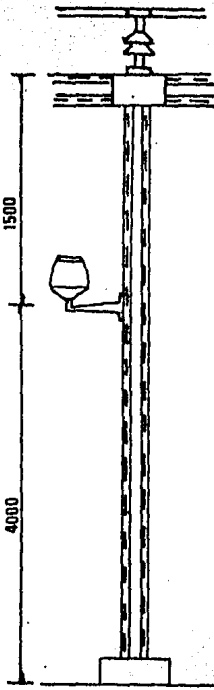
La superficie de la zona es de acuerdo al plano corres--

ndiente de: 132.6 m<sup>2</sup>

Finalmente sustituyendo los valores en la expresión anterior obtenemos:

$$\text{N}^\circ \text{ luminarios} = \frac{200 \times 132.6}{9,500 \times 0.48 \times 0.42} = 13.84$$

Por lo tanto, utilizamos 14 luminarios distribuidos de la forma que se muestra en la siguiente figura 5.1



TESIS PROFESIONAL	J.S.M
FACULTAD DE INGENIERIA	R.C.G
	E.C.S
FIG.5-1 DISTRIBUCION DE LUMINARIOS TIPO SUBESTACION EN ESTRUCTURA	H.P.S
ACOT. EN m.m.	J.V.A
	J.L.V



Para comprobar el nivel de iluminación por el método punto por punto, localizamos los puntos a, b, c, d, e y f (fig. 5.2), los cuales fueron localizados de forma tal que sean representativos del área a la cual comprobamos el nivel de iluminación.

De acuerdo a su posición, el promedio del nivel de iluminación de ellos, nos dará el nivel real existente en la zona.

Para efectuar los cálculos, hacemos uso de la hoja de datos fotométricos de la luminaria (fig. 5.3), y de la siguiente expresión:

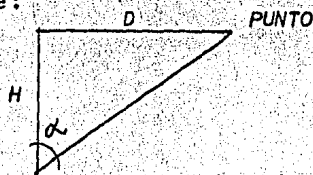
$$E_p = \frac{I \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (*)$$

dónde:  $E_p$  - Nivel de iluminación en un punto (Luxes)

$I$  - Intesidad luminosa en la dirección del ángulo  
(Bujias)

$H$  - Altura de montaje (m)

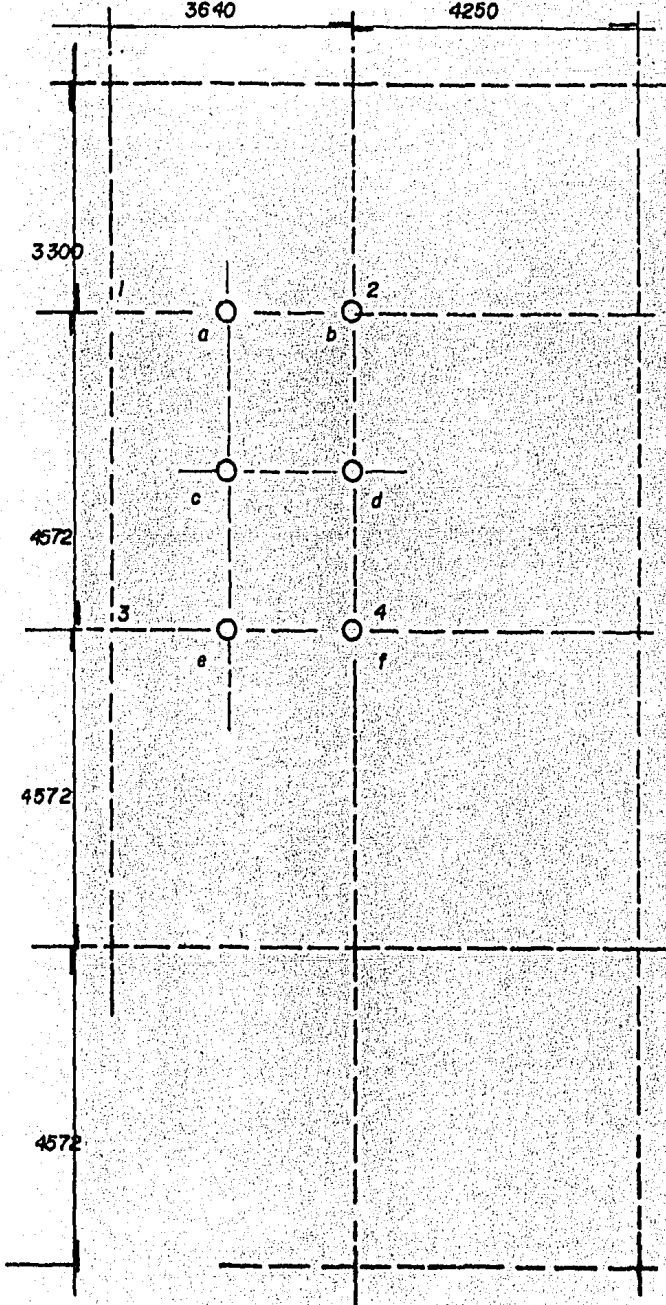
$\alpha$  - Angulo formado por la normal a luminaria y la distancia de ésta al punto considerado gráficamente:



(\*) - Tomada del Manual de alumbrado Philips.  
Edición 1976.

ACOTACION EN MM.

Fig. 5.2





Los resultados obtenidos son los siguientes:

Luminario	Pto.	H	D	$\alpha$	$\text{Cos}^3$	I	E	$E_t$
1 y 2	a	1.5	1.82	50.5	0.257	599.5	2 x 68.5	137
3 y 4	a	1.5	4.92	73	0.025	1970.6	2 x 22	44
1	b	1.5	3.64	67.6	0.055	1313	32.2	32.2
2	b	1.5	0	0	1	404	179.5	179.5
3	b	1.5	5.84	75.5	0.016	2284.7	16	16
4	b	1.5	4.57	71.8	0.030	1789.1	24	24
1,2,3, y 4	c	1.5	2.92	62.8	0.096	988.6	4 x 42.18	168.7
1 y 3	d	1.5	4.29	70.7	0.036	1622.8	2 x 26	52
2 y 4	d	1.5	2.28	56.6	0.167	743.5	2 x 55.1	110.2
1 y 2	e	1.5	4.92	73	0.025	1970.6	2 x 22	44
3 y 4	e	1.5	1.82	50.5	0.257	599.5	2 x 68.5	137
1	f	1.5	5.84	75.5	0.016	2284.7	16	16
2	f	1.5	4.57	71.8	0.030	1789.1	24	24
3	f	1.5	3.64	67.6	0.055	1313	32.2	32.2
4	f	1.5	0	0	1	404	179.5	179.5

Efectuando las sumas para cada punto, obtenemos:

PUNTO	LUXES
a	181
b	251.7
c	168.7
d	162.2
e	181
f	251.7
	<hr/>
TOTAL	1196.3

Por lo tanto, el promedio de iluminación obtenido es:

$$NI_{\text{prom}} = \frac{1196.3}{6} = 199.38 \text{ luxes}$$

Con lo cual, justificamos el valor del nivel de iluminación requerido en la zona.

## 5.2) ILUMINACION DE LA SUPERFICIE DE LA SUBESTACION.

Para esta sección, consideramos utilizar reflectores con los cuales logramos iluminar de manera más específica, el área de interés. El reflector seleccionado proporciona un patrón rectangular de luz uniforme sobre el área a iluminar, logrando con esta característica, una iluminación más efectiva y uniforme.

Los datos del luminario son los siguientes:

Tipo de unidad.- Reflector Profile marca Crouse-Hinds

N° de catálogo.- GAL-2-L-EC-4

Tipo de lámpara.- Sodio alta presión

Potencia.- 250 Watts.

Lúmenes.- 21,500 lúmenes

CALCULOS.- El número de reflectores los calculamos con la expresión anteriormente usada:

$$\text{N}^\circ \text{ de reflectores} = \frac{E \times A}{\phi \times CU \times FM}$$

El fabricante del luminario proporcionó un factor de ---

utilización de: CU = 0.8

Para el cálculo del factor de mantenimiento consideramos:

Depreciación por limpieza = 0.65

Depreciación de la lámpara = 0.75

por lo tanto: FM = 0.65 x 0.75 = 0.48

La superficie de la subestación, de acuerdo al plano correspondiente, es de: 875 m<sup>2</sup>

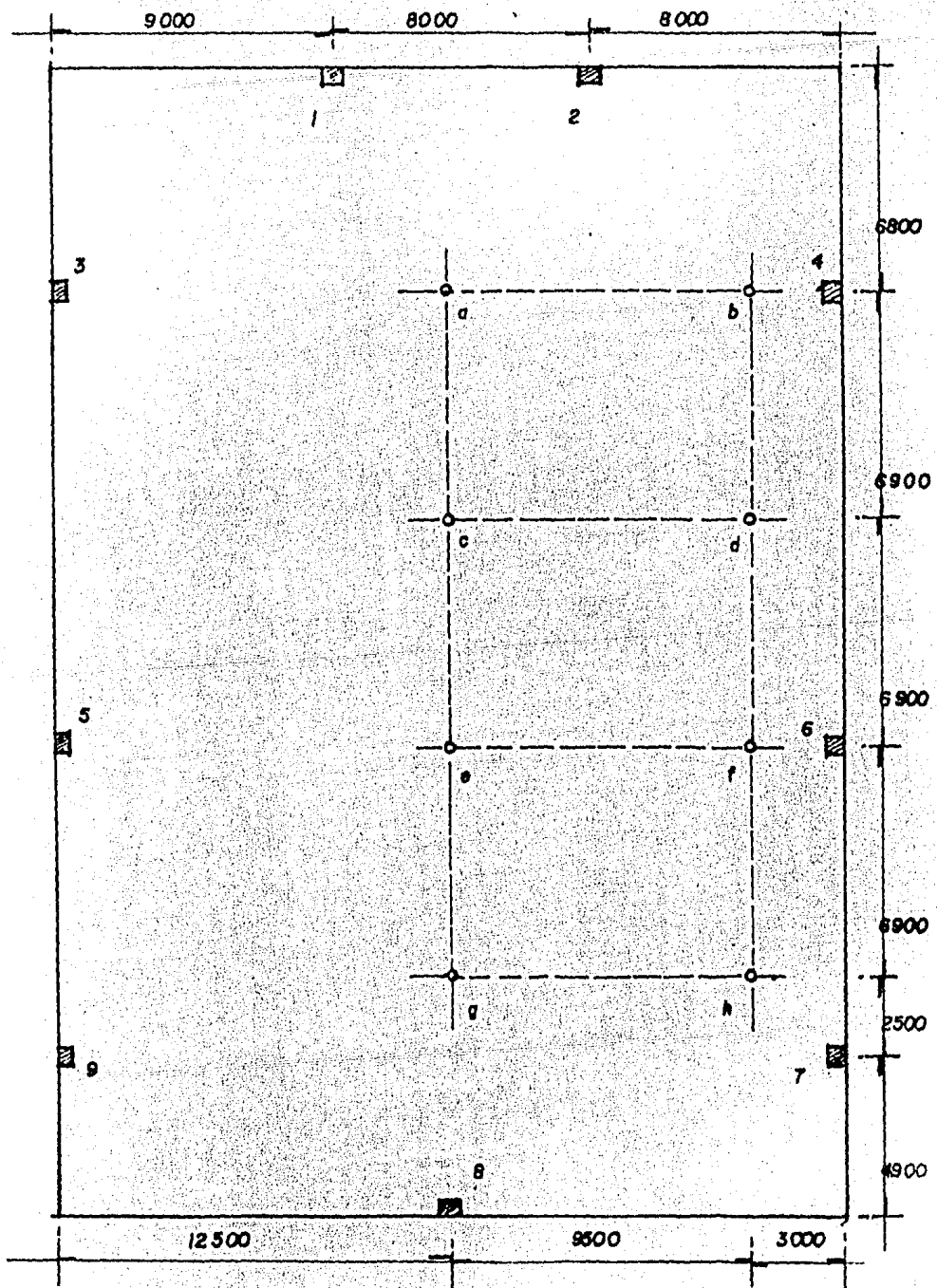
Finalmente obtenemos:

$$\text{N}^\circ \text{ reflectores} = \frac{150 \times 875}{21,500 \times 0.8 \times 0.48} = 15.897$$

Utilizamos 16 reflectores distribuidos de tal manera, -- que logremos los requerimientos de iluminación en los lugares de interés, empleándose para ello, 8 postes de 6 mts. con 2 - unidades.

Para comprobar el nivel de iluminación mediante las curvas de distribución del luminario, localizamos los puntos: --

DISTRIBUCION DE REFLECTORES EN LA SUBESTACION Fig. 5.4





a, b, c, d, e, f, g, y h (fig. 5.4) de tal manera que sean representativos de la superficie a iluminar.

De acuerdo a la posición de los puntos, el promedio de iluminación de ellos será el nivel real que existe en la zona.

Para entrar a las curvas de distribución, hacemos uso de las siguientes relaciones:

$$R_L = \frac{\text{Distancia longitudinal al punto}}{\text{Altura de montaje}}$$

$$R_T = \frac{\text{Distancia transversal al punto}}{\text{Altura de montaje}}$$

Las curvas de distribución proporcionadas por el fabricante del reflector, son para una unidad con una lámpara de 400 Watts, por lo cual, para obtener los valores para una unidad con una lámpara de 250 Watts, afectamos los valores por un factor de corrección de:

$$\text{Factor de Corrección} = \frac{250}{400} = 0.625$$

Los resultados obtenidos se listan a continuación:

Reflector	Pto.	Altura de montaje	Dist. long.	Dist. trans.	R <sub>L</sub>	R <sub>T</sub>	E	E <sub>T</sub>
1	a	6	3.5	6.8	0.58	1.13	31.8 x 2	63.6
2	a	6	4.5	6.8	0.75	1.13	31.8 x 2	63.6
3 y 4	a	6	0	12.5	0	2.08	24 x 4	96
2	b	6	5	6.8	0.83	1.13	31.8 x 2	63.6
4	b	6	0	3	0	0.5	65 x 2	130
1	c	6	3.5	13.7	0.58	2.28	16.2 x 2	32.4
2	c	6	4.5	13.7	0.75	2.28	16.2 x 2	32.4
3,4,5,6	c	6	6.9	12.5	1.15	2.08	12.1 x 8	96.8
2	c	6	5	13.7	0.83	2.28	16.2 x 2	32.4
4, 6	d	6	6.9	3	1.15	0.5	8.1 x 2	32.4
5, 6	e	6	0	12.5	0	2.08	24 x 4	96
7	e	6	9.5	12.5	1.58	2.08	3.1 x 2	6.2
8	e	6	0	14.4	0	2.4	16.2 x 2	32.4
6	f	6	0	3	0	0.5	65 x 2	130
7	f	6	9.5	3	1.58	0.5	3.1 x 2	6.2
8	f	6	9.5	14.4	1.58	2.4	3.1 x 2	6.2
5, 6	g	6	6.9	12.5	1.5	2.08	12.1 x 4	48.4
7	g	6	2.5	12.5	0.41	2.08	23.7 x 2	47.4
8	g	6	0	7.4	0	1.23	81.2 x 2	162.4
6	h	6	6.9	3	1.16	0.5	8.1 x 2	16.2
7	h	6	2.5	3	0.41	0.5	31.8 x 2	63.6
8	h	6	9.5	7.4	1.58	1.23	3.1 x 2	6.2

## REFLECTOR *Profile*

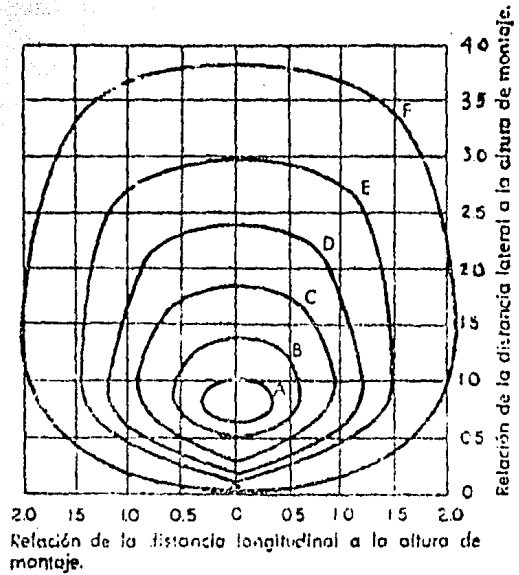
Con Lámpara de Vapor de Sodio de alta presión de 400 W.

Nota: Use la tabla para determinar los valores de Luxes a varias alturas de montaje. Las cifras indican Luxes sobre un plano horizontal.

Valores en Luxes para las Curvas: Altura de Montaje

A	B	C	D	E	F	
156	104	51	26	13	5.1	6 mts.
60	40	20	10	5	2	10 mts.
48	32	16	8	4	1.6	11 mts.
24	24	12	6	3	1.2	12.5 mts.

\* Altura de montaje recomendada.



Efectuando las sumas para cada punto:

PUNTO	LUXES
a	223.2
b	193.6
c	194
d	32.4
e	134.6
f	142.4
g	258.2
h	<u>86</u>
<b>TOTAL</b>	<b>1264.4</b>

Nivel de iluminación promedio =  $\frac{1264.4}{8} = 158.05$  luxes, --  
con lo cual comprobamos el nivel requerido en la zona.

### 5.3) CALCULO DE CONDUCTORES ELECTRICOS.-

El calibre de los conductores eléctricos se ha determinado bajo los siguientes criterios:

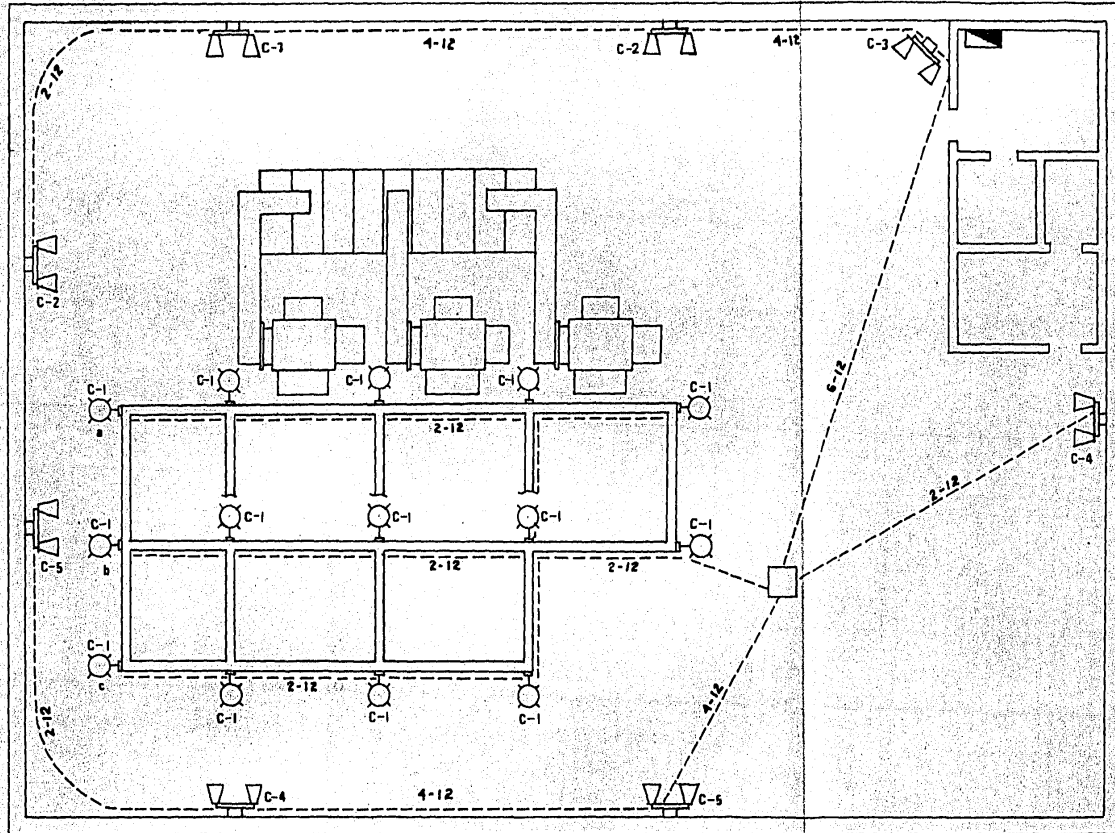
- a) Capacidad del circuito
- b) Regulación de tensión

Capacidad del circuito.- El conductor eléctrico, debe ser el adecuado para la capacidad del circuito, el cual se determina por la corriente del circuito, y por la capacidad de conducción de la corriente eléctrica del conductor.

Para calcular la corriente eléctrica, empleamos las siguientes expresiones:

a) Sistema monofásico  $I = \frac{W}{E_n \cos \phi}$

B) Sistema trifásico  $I = \frac{W}{(3) \frac{1}{\sqrt{3}} E_f \cos \phi}$



TESIS PROFESIONAL	J.S.M
FACULTAD DE INGENIERIA	R.C.G
	E.C.S
SISTEMA GENERAL DE ALUMBRADO	H.P.S
ESCALA 1:125	J.V.A
	J.L.V

dónde:  $W$  - Carga eléctrica total instalada (Watts)

$E_n$  - Tensión eléctrica al neutro (Volts)

$E_f$  - Tensión eléctrica entre fases (Volts)

$\cos \phi$  - Factor de potencial (Adimensional)

Regulación de Tensión.- Una vez determinado el calibre del conductor bajo el criterio anterior, se procede a analizar, si es adecuado para una regulación de tensión considerada.

La regulación de tensión para un sistema monofásico, viene dada por la siguiente expresión:

$$e \% = \frac{4 L I}{S E_n}$$

Para un sistema trifásico de cuatro y tres hilos, la expresión es la siguiente:

$$e \% = \frac{2 L I}{S E_n}$$

dónde:  $e \%$  - Regulación de tensión en %

$E_n$  - Tensión al neutro (Volts)

L - Distancia desde el punto de distribución de la energía eléctrica hasta el centroide de la carga (m).

I - Corriente en el circuito (Amperes)

S - Sección transversal ó área del cobre del conductor ( $\text{mm}^2$ )

Nota: Estas expresiones se obtuvieron tomando un valor de resistividad de  $\rho_{60^\circ \text{ C}} = \frac{1}{50} \frac{\text{ohms} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$  y -- factor de potencia unitario.

## CALCULOS

Capacidad del Circuito.- En la sección 202.8 de las Normas Eléctricas (NTIE-1981- DGE), indica:

"...Para calcular la carga de equipos de iluminación que utilicen balastos, transformadores ó autotransformadores, debe considerarse la corriente total que tomen dichos equipos y no solamente la potencia de las lámparas de los mismos".

En nuestro caso, establecimos tomar un 20% de consumo de potencia, basado en las indicaciones del fabricante de dicho equipo.

Teniéndose para un luminario tipo subestación, un consumo total de  $100 \times 1.2 = 120$  Watts, y para un reflector: ---  
 $250 \times 1.2 = 300$  Watts.

La acometida del servicio es de 3 fases 4 hilos 220/127 VCA, y para obtener un mejor balanceo entre las fases, establecimos los siguientes circuitos derivados, alimentados a -- una tensión de 220 VCA.

Circuito N° 1.- Circuito para 14 luminarios tipo subes-



tación, con una carga total de:  $14 \times 120 = 1,680$  Watts. con una corriente total considerando un factor de potencia de 0.85

$$I = \frac{1,680}{220 \times 0.85} = 8.98 \text{ Amperes}$$

Circuitos N°s 2, 3, 4 y 5.- Estos circuitos alimentan las 8 unidades de reflectores (cada unidad con 2 reflectores), teniendo cada circuito una carga correspondiente a dos unidades, con una carga total por circuito de:  $300 \times 2 \times 2 = 1,200$  Watts., con una corriente a un factor de potencia de 0.85 de:

$$I = \frac{1,200}{220 \times 0.85} = 6.41 \text{ Amperes}$$

Requiriéndose por capacidad de circuito un conductor de las siguientes características, según la tabla 302.4 de las NTIE-1981-DGE; en ambos circuitos:

Conductor N° 14 con aislamiento TW con capacidad de 15 Amperes, con una sección transversal de  $2.08 \text{ mm}^2$ .

Regulación de tensión.- Las NTIE-1981-DGE en la sección 202.6 señala: "En un circuito derivado que alimente cualquier

tipo de carga (alumbrado, fuerza o calefacción), la caída de tensión hasta la salida más lejana, no debe exceder del 3%".

Para calcular dicha regulación, necesitamos primeramente calcular la distancia al centroide de la (s) carga (s) más alejada (s) de cada circuito.

Ejemplificamos el cálculo con el circuito N° 1, localizando en el plano del sistema general de alumbrado, los puntos a, b y c, calculando el centroide con la expresión:

$$L = \frac{W_i L_i}{W_i}$$

dónde:  $W_i$  - Carga instalada en el punto  $i$

$L_i$  - Distancia desde la alimentación del circuito, al punto  $i$

De dicho plano obtenemos los datos siguientes:

Punto	Distancia (m)	Carga (Watts)
a	43 m	120
b	39	120
c	43	120

siendo la distancia al centroide de:

$$L_1 = \frac{120 (43 + 39 + 43)}{3 \times 120} = 41.66 \text{ m}$$

Continuando de la misma manera, obtenemos los siguientes valores en los circuitos restantes:

Circuito N° 2	$L_2 = 38.3 \text{ m}$
Circuito N° 3	$L_3 = 25.3 \text{ m}$
Circuito N° 4	$L_4 = 40.3 \text{ m}$
Circuito N° 5	$L_5 = 54.3 \text{ m}$

Con los datos anteriores, calculamos las secciones transversales requeridas para un valor de regulación de 3%.

Circuito N° 1.-

de la expresión  $e\% = \frac{4 L I}{S E_n}$  despejando S

$$S = \frac{4 L I}{e\% E_n} = \frac{4 \times 41.66 \times 8.98}{3 \times 220}$$

$$S = 2.267 \text{ mm}^2$$

Circuito N° 2.-

$$S = \frac{4 \times 38.3 \times 6.41}{3 \times 220} = 1.487 \text{ mm}^2$$

Circuito N° 3.-

$$S = \frac{4 \times 25.3 \times 6.41}{3 \times 220} = 0.982 \text{ mm}^2$$

Circuito N° 4.-

$$S = \frac{4 \times 40.3 \times 6.41}{3 \times 220} = 1.565 \text{ mm}^2$$

Circuito N° 5.-

$$S = \frac{4 \times 54 \times 6.41}{3 \times 220} = 2.097 \text{ mm}^2$$

Por los resultados obtenidos, observamos que el conductor seleccionado por el criterio anterior, solo satisface los requerimientos de los circuitos N°s 2, 3 y 4

Por lo tanto, seleccionamos conductor N° 12 AWG, con una sección transversal de  $3.31 \text{ mm}^2$ , obteniéndose los siguientes valores de regulación:

Circuito N° 1.-

$$e \% = \frac{4 \times 41.66 \times 8.98}{3.31 \times 220} = 2.05 \%$$

Circuito N° 2.-

$$e \% = \frac{4 \times 38.3 \times 6.41}{3.31 \times 220} = 1.34 \%$$

Circuito N° 3.-

$$e \% = \frac{4 \times 25.3 \times 6.41}{3.31 \times 220} = 0.89 \%$$

Circuito N° 4.-

$$e \% = \frac{4 \times 40.3 \times 6.41}{3.31 \times 220} = 1.41 \%$$

Circuito N° 5.-

$$\theta \% = \frac{4 \times 54 \times 6.41}{3.31 \times 220} = 1.90 \%$$

Con lo cual, respetamos lo establecido al principio de -  
este análisis.

## CAPITULO 6.- DESCRIPCION DEL EQUIPO

En el presente capítulo, describimos los equipos que con tiene la subestación, y los materiales necesarios para su ins talación. Además, mencionamos las características de cada -- aparato, y presentamos un diagrama esquemático de los más im portantes.

La lista de equipos y materiales es la siguiente:

<u>N°</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>DESCRIPCION</u>
1	3	pza.	Apartarrayos.
2	3	pza.	Transformador de potencia
3	1	pza.	Interruptor principal (52)
4	1	pza.	Tablero de protección, control y medición
5	1	pza.	Transformador de distribución
6	3	pza.	Electroducto de barras aislantes
7	3	pza.	Cadena de tensión
8	6	pza.	Cuchilla desconectadora de 1 polo
9	4	jgo.	Cuchilla desconectadora de 3 po-- los
10	3	pza.	Cuchilla portafusible de 1 polo
11	33	pza.	Aislador de porcelana
12	1	equipo	Equipo de medición de Cfa. sumi-- nistradora

<u>Nº</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>DESCRIPCION</u>
13	40	pza.	Tubo de cobre uso eléctrico
14	50	mts.	Cable 4/0 AWG
15	24	pza.	Conector para derivación en T de tubo a tubo
16	3	pza.	Conector terminal de cable a barra
17	6	pza.	Conector recto de expansión para tubo
18	3	pza.	Conector para derivación en T de tubo a cable
19	33	pza.	Clema de sujeción para tubo



6.1) APARTARRAYOS.- Son dispositivos monofásicos que se encargan de mandar a tierra las sobretensiones provocadas -- por fenómenos atmosféricos, o por el cierre o apertura de interruptores.

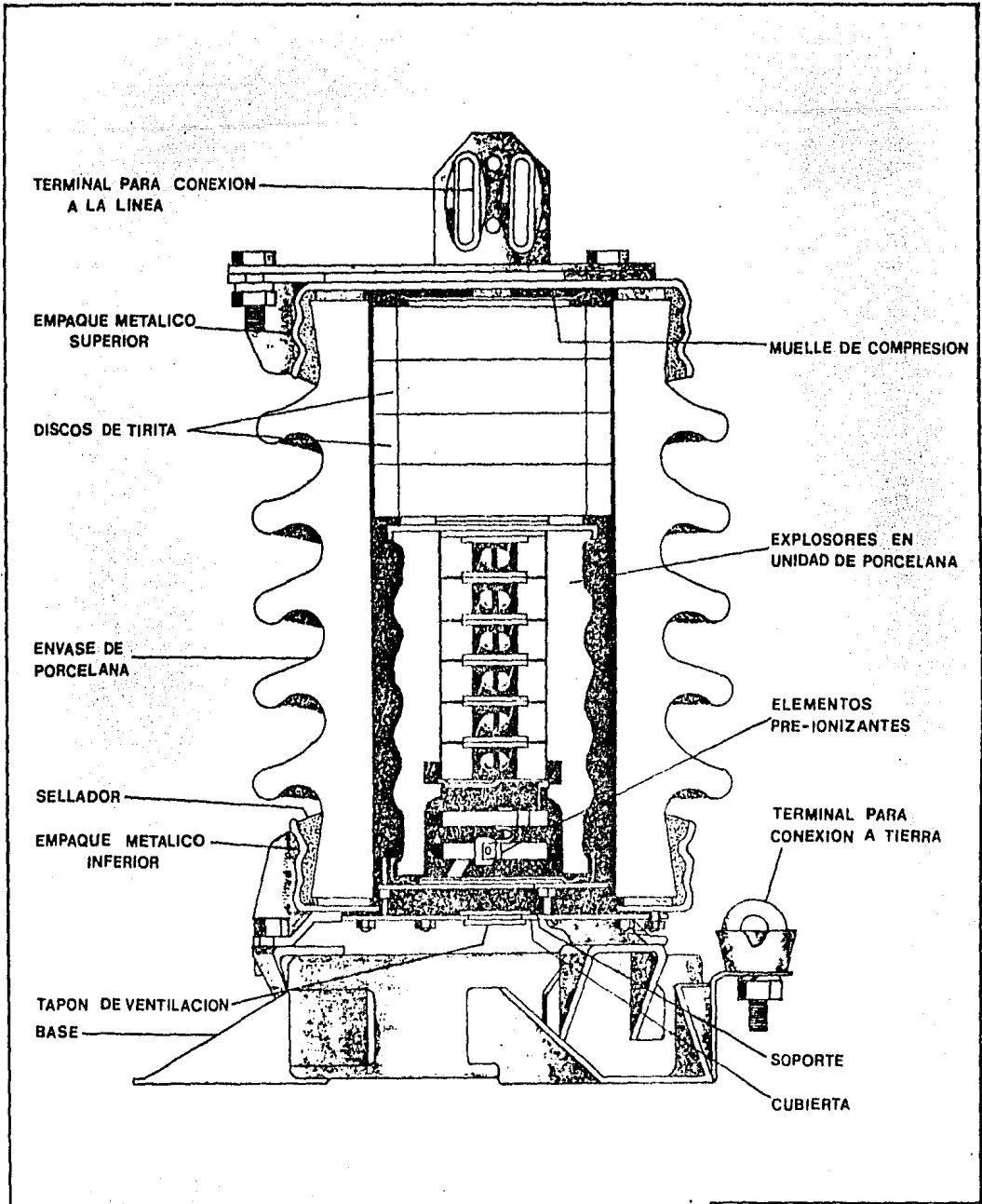
Los datos de placa de los 3 apartarrayos son:

- a) Tipo IVL
- b) Voltaje de operación: 24 KV (máximo voltaje entre fase y neutro)
- c) Marca: Westinghouse

En la figura 6.1 podemos apreciar la estructura interna de los apartarrayos.

6.2) TRANSFORMADORES DE POTENCIA.- La función de los --- transformadores es la de transferir energía de un circuito a otro, transformando los valores del voltaje.

En la subestación alimentadora N° 2 de C. U., el voltaje que suministrará la Cía de Luz es de 23 KV. Todas las subestaciones de los edificios, serán alimentadas a 6.3 KV, que es el voltaje de distribución de C. U.



TESIS PROFESIONAL	J.S.M.
FACULTAD DE INGENIERIA	R.C.G.
	E.C.S.
	H.P.S.
FIG.8.1 APARTARRAYOS	J.V.A.
	J.L.Y.

Las características de los transformadores son:

a) Capacidad en KVA.- 2,500/3,125

Esto significa que nuestros transformadores tienen -- una capacidad de 25,00 KVA con ventilación natural, y un 25% más con ventilación forzada.

b) Número de fases.- 3

c) Frecuencia.- 60 Hz

d) Rango de voltajes.- 20 a 23 KV en el embobinado primario y 6.3 KV en el secundario

e) Derivaciones.- Tienen un equipo automático de cambia-dores en derivación con carga, los cuales pueden va-riar el voltaje del embobinado secundario en  $\pm 10\%$ , - para lo cual cuentan con 32 derivaciones.

f) Conexiones de los embobinados.- El embobinado primario está conectado en delta, y el secundario en estrella, con neutro sólidamente a tierra.

g) Sistema de enfriamiento.- Tipo OA/FA.

h) Impedancia.- 8.8%

i) Nivel de impulso onda completa.- En alta tensión es - de 150 KV, y en baja tensión es de 95 KV.

j) Elevación de temperatura.- 55° C a plena carga conti-nua, a 2,300 M.S.N.M.

- k) Medio de aislamiento.- Aceite, 6,210 litros.
- l) Tipo de servicio.- Intemperie
- m) Accesorios.- 3 ventiladores que operan automáticamente en caso de sobrecalentamiento; válvulas limitadoras de la presión del aceite reguladas por un manómetro combinado; relevador Tipo TRO de 3 elementos que funciona por medio de termostato; indicador de nivel de aceite con alarma; termómetro de carátula con alarma; ganchos para maniobras de instalación; ruedas para movilizarlos; y terminales para conectar a tierra el bastidor.
- n) Peso total.- 17,050 kgs.
- ñ) Marca.- IEM

En la figura 6.2 se muestran las partes principales de un transformador de potencia.

6.3) INTERRUPTOR PRINCIPAL.- El interruptor principal es el dispositivo que se encarga de abrir o cerrar el circuito, ya sea manual o automáticamente.

La capacidad interruptiva del interruptor debe ser igual o mayor que la capacidad de corto circuito disponible en el sistema, para que soporte dicha sobrecorriente sin sufrir daño alguno.

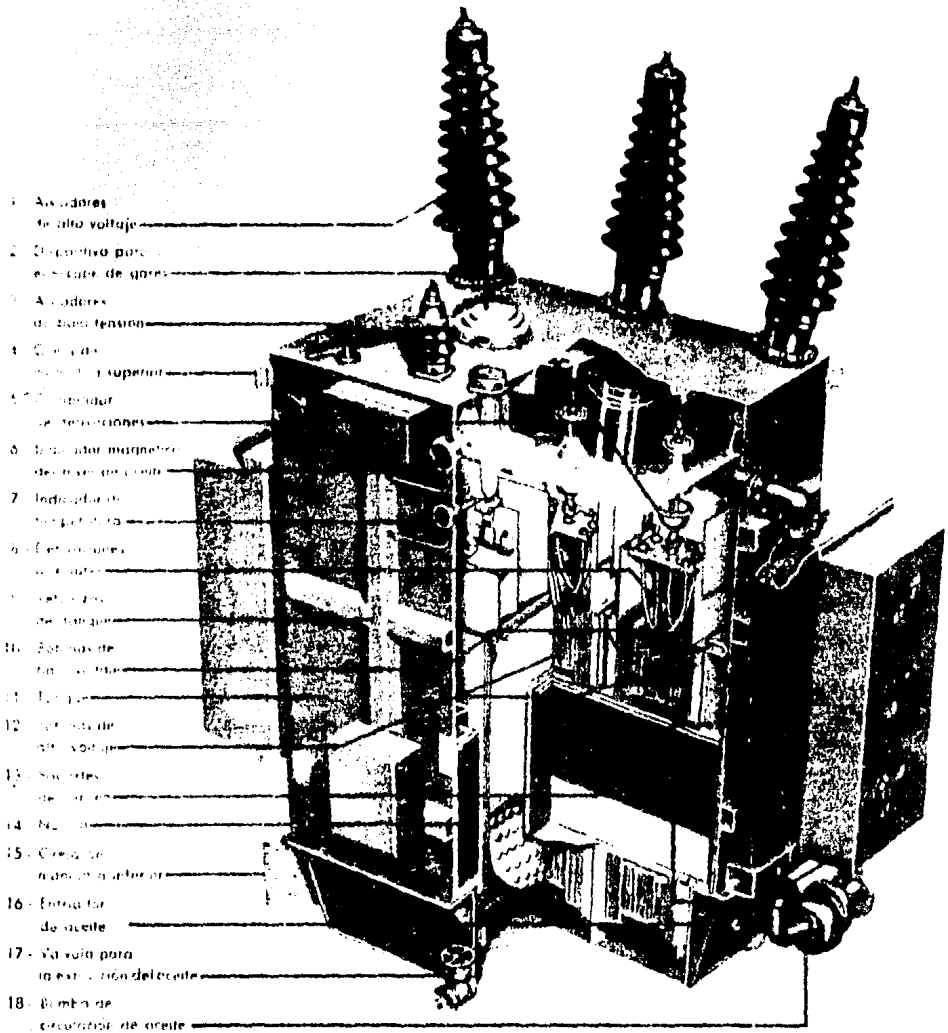


FIGURA 6.2 Transformador de Potencia.

La subestación alimentadora N° 2 de C. U. cuenta con un interruptor en aceite con estructura de acero soldado, (fig. - 6.3), cuyas características son:

- a) Marca: Wstinghouse Power Circuit Breaker
- b) Tipo: 345G1500
- c) KV normales: 34.5
- d) KV máximos de diseño: 38
- e) KV mínimos por MVA normales: 23
- f) Nivel de aislamiento a impulso: 200 KV
- g) Corriente normal en amperes: 1,200
- h) Corriente de corto circuito en amperes: 22,000
- i) Capacidad interruptiva en MVA: 1,000
- j) Tiempo de interrupción en ciclos: 5
- k) Frecuencia: 60 Hz
- l) Litros de aceite para tanque: 276 (3 tanques)
- m) Peso del interruptor con aceite: 2,971 kgs.

6.4) TABLERO DE PROTECCION, CONTROL Y MEDICION.- Está formado por 10 gabinetes, los cuales contienen el equipo de protección, control y medición de cada zona de la subestación. Dichas zonas se ilustran en la figura 6.4, con sus respectivas designaciones.

Los gabinetes A y B contienen el banco de baterías para

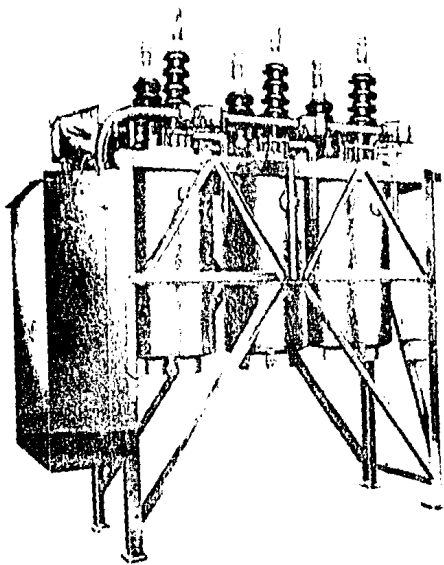


FIG. 6.3 INTERRUPTOR PRINCIPAL

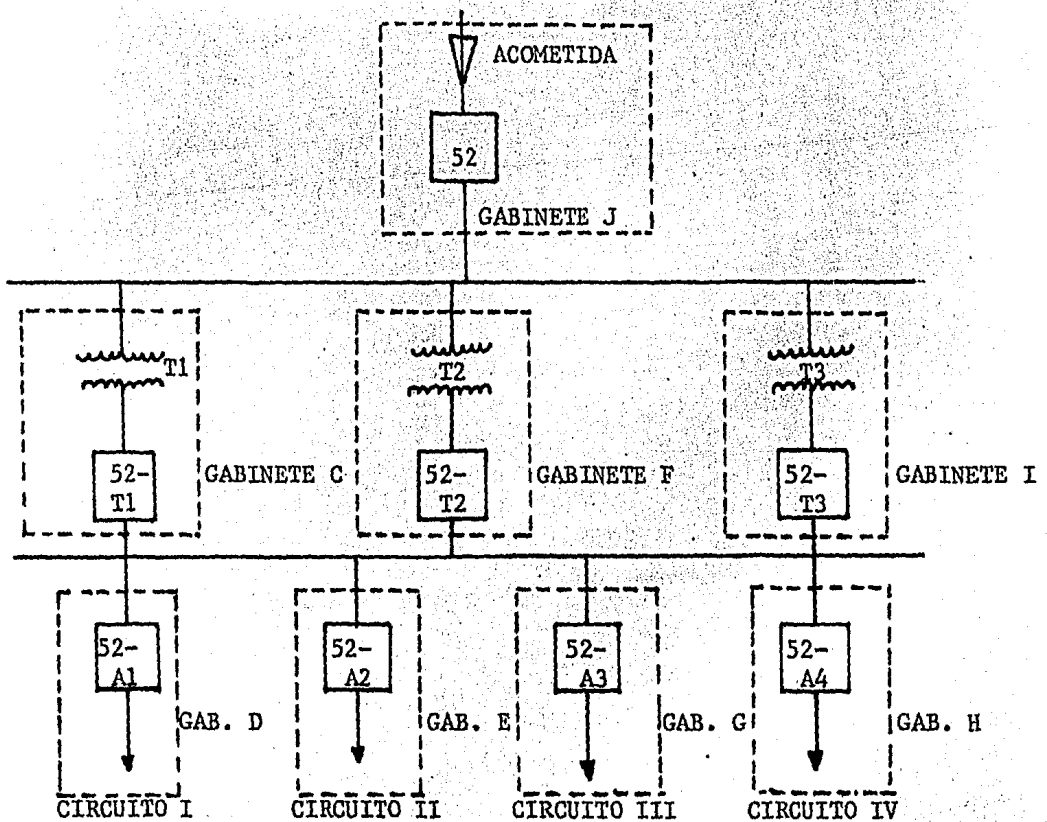


FIGURA 6.4 ZONAS DE PROTECCION DE LOS GABINETES

alimentar los circuitos de 125 V.C.D. de control de los relevadores.

En el gabinete C, se encuentran los relevadores para la protección del transformador 1, un interruptor de potencia en aire, y los aparatos de medición asociados al secundario del transformador.

En el gabinete D, están ubicados los elementos de protección del circuito alimentador I, un interruptor de potencia en aire, un ampérmetro y un kilowatt-horímetro.

El gabinete J, encierra los aparatos de protección contra sobrecorriente y bajo voltaje en el "bus" de alta tensión, los cuales controlan el mecanismo de operación automática del interruptor principal de la subestación; y los aparatos de medición en alta tensión.

Los gabinetes F e I, corresponden a los transformadores 2 y 3, y son idénticos al gabinete C. Asimismo, los gabinetes E, G y H son iguales al D, pero en las zonas de los circuitos II, III y IV respectivamente. Por lo anterior, solo describiremos los gabinetes J, C y D.



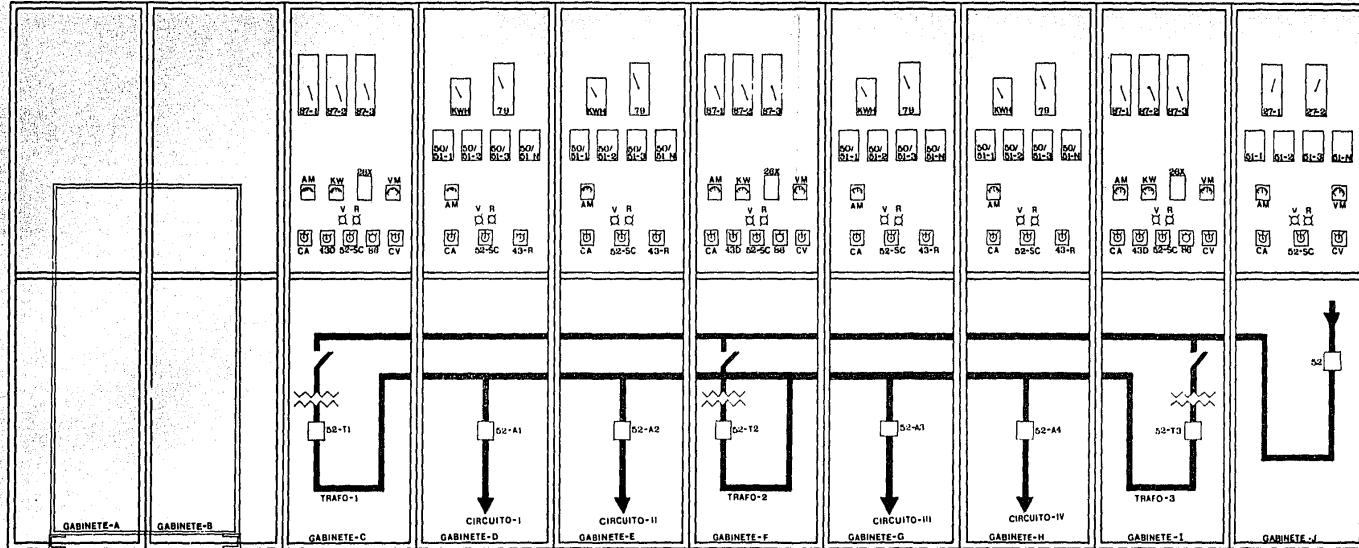
La figura 6.5 muestra el ensamble principal del tablero, esto es, la distribución de los aparatos en los respectivos gabinetes.

El diagrama de interconexiones y tablillas de paso, en donde se muestran los circuitos de alimentación de C. D. de los relevadores, y de C. A. (alumbrado y resistencias calefactoras) de los gabinetes, está en la figura 6.6.

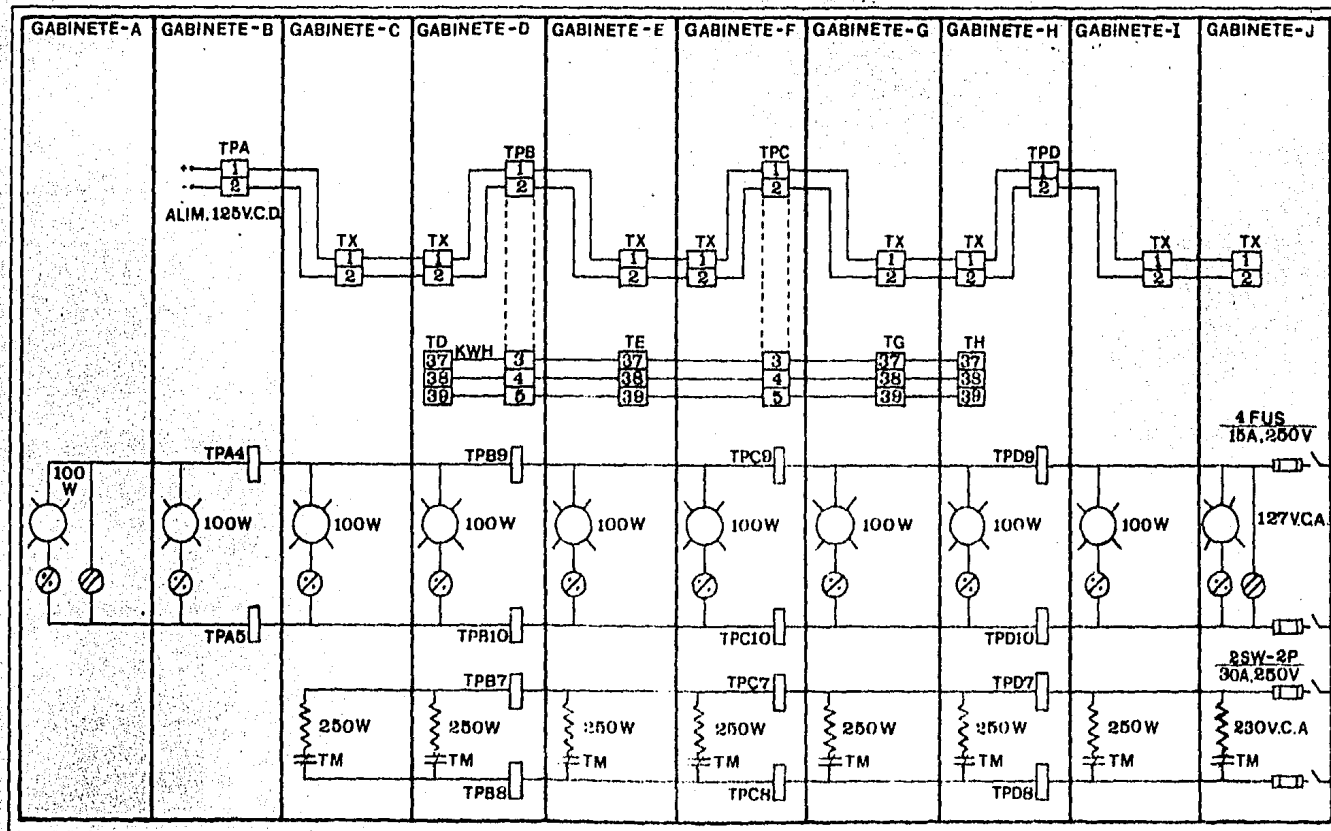
A continuación, exponemos el contenido de los gabinetes J, C y D, con sus respectivos diagramas trifilares y de control de C. D.

6.4.1) GABINETE J.- La lista de los componentes que integran este gabinete es la siguiente:

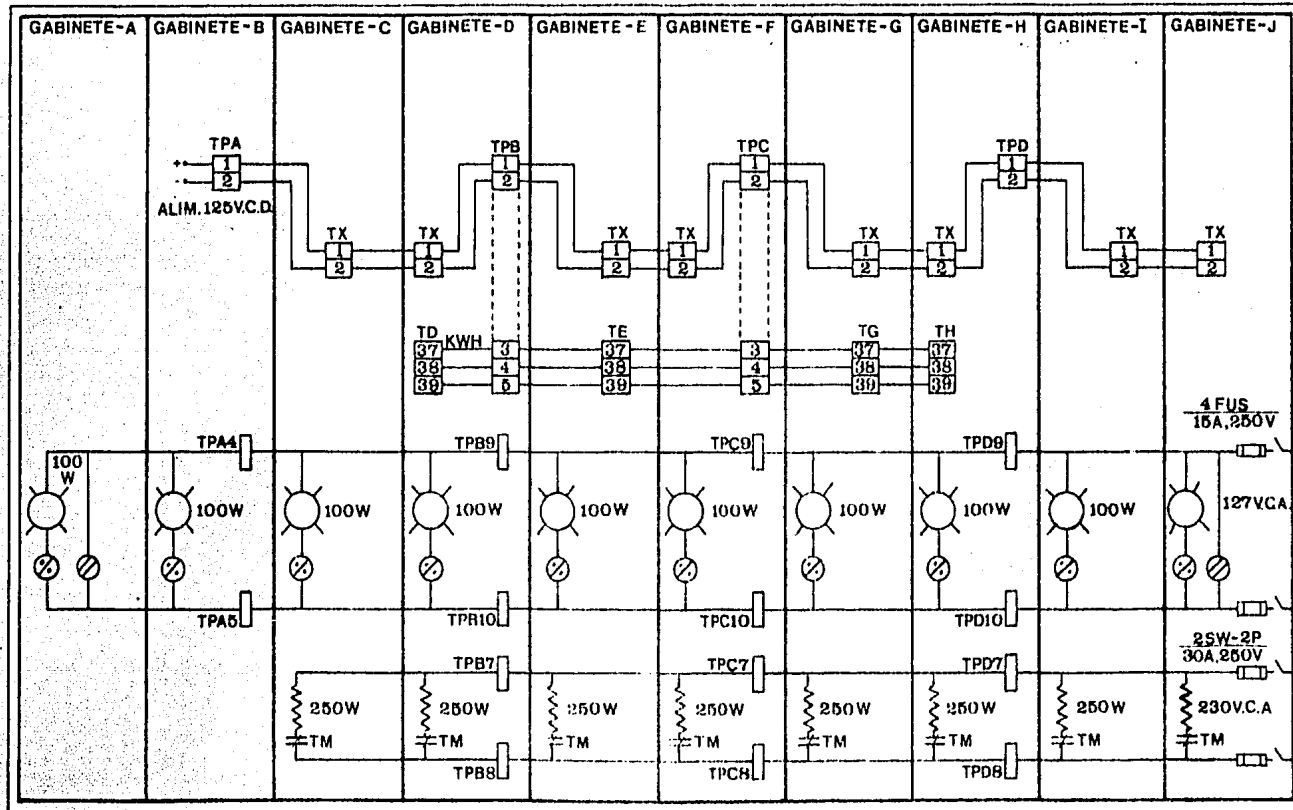
- a) 2 relevadores de bajo voltaje (27-1 y 27-2)
- b) 4 relevadores de sobrecorriente (51-1, 51-2, 51-3 y 51-N)
- c) 1 ampérmetro de 0 a 400 A. (AM)
- d) 1 vóltmetro de 0 a 27.5 KV. (VM)
- e) 1 conmutador ampérmetro (CA)
- f) 1 conmutador vóltmetro (CV)
- g) 1 conmutador de control de cierre o disparo del inte-



TESIS PROFESIONAL JS M  
 FACULTAD DE INGENIERIA RCG  
 FIG.8.8 ENSAMBLE PRINCIPAL ECS  
 DE LOS GABINETES JVA  
 JLV



TESIS PROFESIONAL FACULTAD DE INGENIERIA J.S.M. H.F.S.  
 FIG.8.6 DIAGRAMA DE INTERCONEXIONES Y R.C.G. J.V.A.  
 TABILLAS DE PASO E.C.S. J.L.V.



TESIS PROFESIONAL. FACULTAD DE INGENIERIA	J.S.M	H.R.S.
FIG.8.6 DIAGRAMA DE INTERCONEXIONES Y TABILLAS DE PASO	R.C.G.	J.V.A.
	E.C.S.	J.L.Y.

rruptor principal (52-CS)

h) 2 luces indicadoras

Además, se requieren 3 TC'S de 200/5A en el "bus" de alta tensión, para la conexión de los relevadores 51.

En la figura 6.7 presentamos el diagrama trifilar del gabinete J, donde podemos observar que las conexiones de los relevadores 27-1 y 27-2, y del vóltmetro de alta tensión, se toman directamente del transformador de distribución.

En el diagrama de control del gabinete J (fig. 6.8), tenemos la siguiente nomenclatura:

52/a y 52/b.- Contactos auxiliares del interruptor.

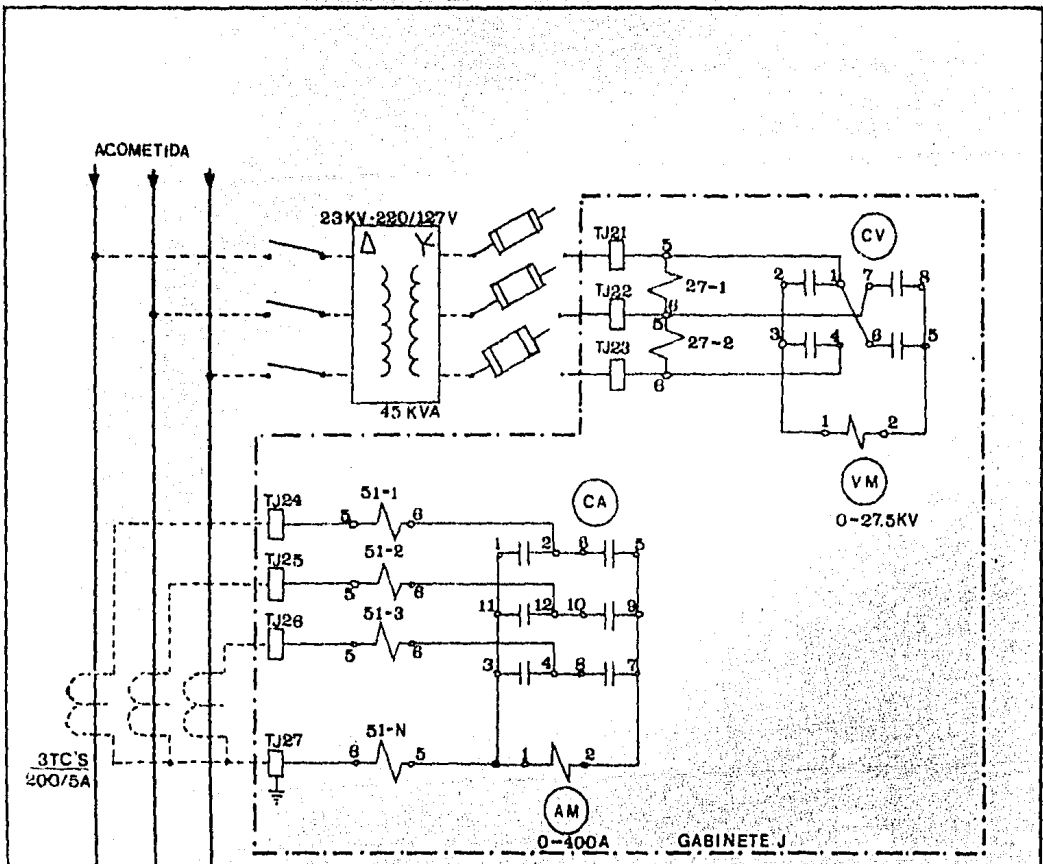
SI.- Bobina para indicación de operación del relevador.

6.4.2.) GABINETE C.- La lista de equipos y accesorios para protección, medición y control del transformador 1, ubicados en este gabinete, es la siguiente:

a) 3 relevadores diferenciales (87-1, 87-2 y 87-3)

b) 1 relevador de bloqueo (86)

c) 1 relevador térmico (26)



52

SECUENCIA DE OPERACION CA

CONTACTOS	POSICIONES		
	0	1	2 3
1-2	X	X	X
3-4	X	X	X
5-6		X	
7-8			X
9-10			X
11-12	X	X	X

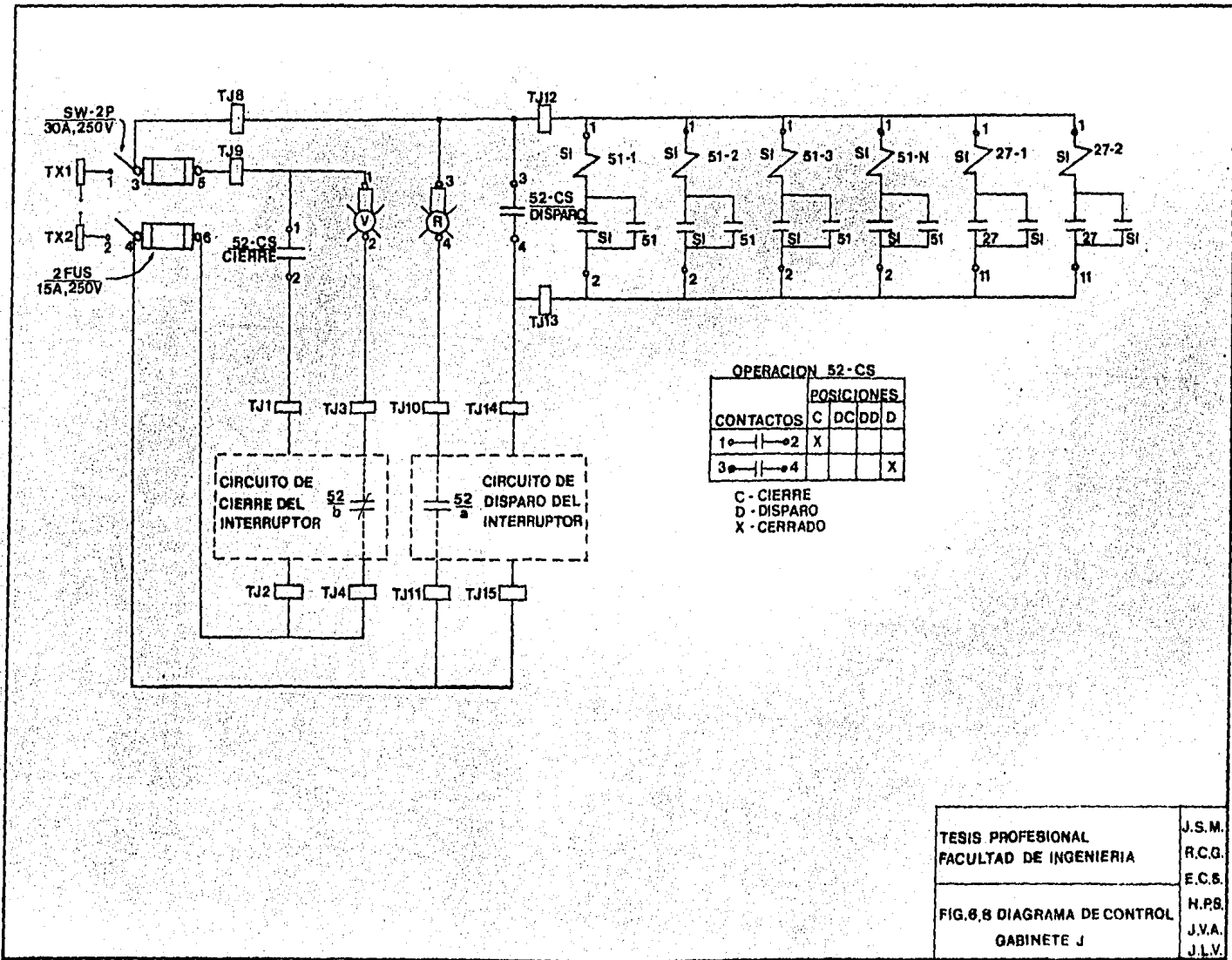
X - CONTACTO CERRADO

SECUENCIA DE OPERACION CV

CONTACTOS	POSICIONES			
	0	1-2	2-3	3-1
1-2		X		
3-4			X	X
5-6				X
7-8		X	X	

X - CONTACTO CERRADO

TESIS PROFESIONAL	J.S.M.
FACULTAD DE INGENIERIA	R.C.G.
	E.C.S.
FIG.6.7 DIAGRAMA TRIFI-	H.P.S.
LAR GABINETE J	J.V.A.
	J.L.



OPERACION 52-CS

CONTACTOS	POSICIONES			
	C	DC	DD	D
1-2	X			
3-4				X

C - CIERRE  
 D - DISPARO  
 X - CERRADO

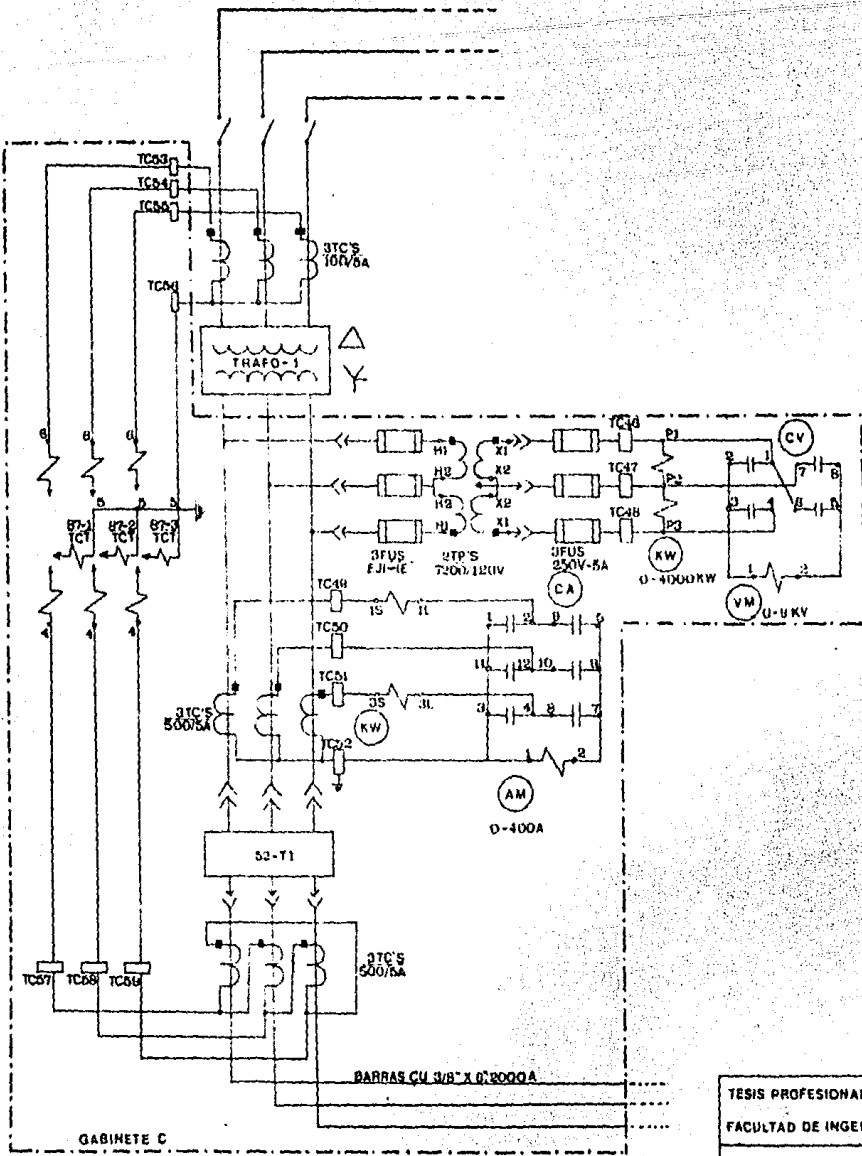
TESIS PROFESIONAL FACULTAD DE INGENIERIA	J.S.M.
	R.C.G.
FIG.8.8 DIAGRAMA DE CONTROL GABINETE J	E.C.S.
	H.P.S.
	J.V.A.

- d) 1 relevador de transferencia (43)
- e) 1 interruptor de potencia en aire, 500 MVA, 7.2 KV, -  
1,200 Amp., tipo POWER-VAC, marca G. E. (52-T1)
- f) 1 ampérmetro de 0 a 400 A. (AM)
- g) 1 voltmetro de 0 a 9 KV. (VM)
- h) 1 kilowátmetro de 0 a 4,000 KW. (KW)
- i) 1 conmutador de control de cierre o disparo del interruptor 52-T1. (52-CS)
- j) 2 luces indicadores
- k) 1 conmutador ampérmetro (CA)
- l) 1 conmutador voltmetro (CV)
- m) 6 transformadores de corriente de 500/5A
- n) 2 transformadores de potencial de 7,200/120V
- ñ) 3 barras de cobre, de 3/8" x 6", para 2,000 amp.

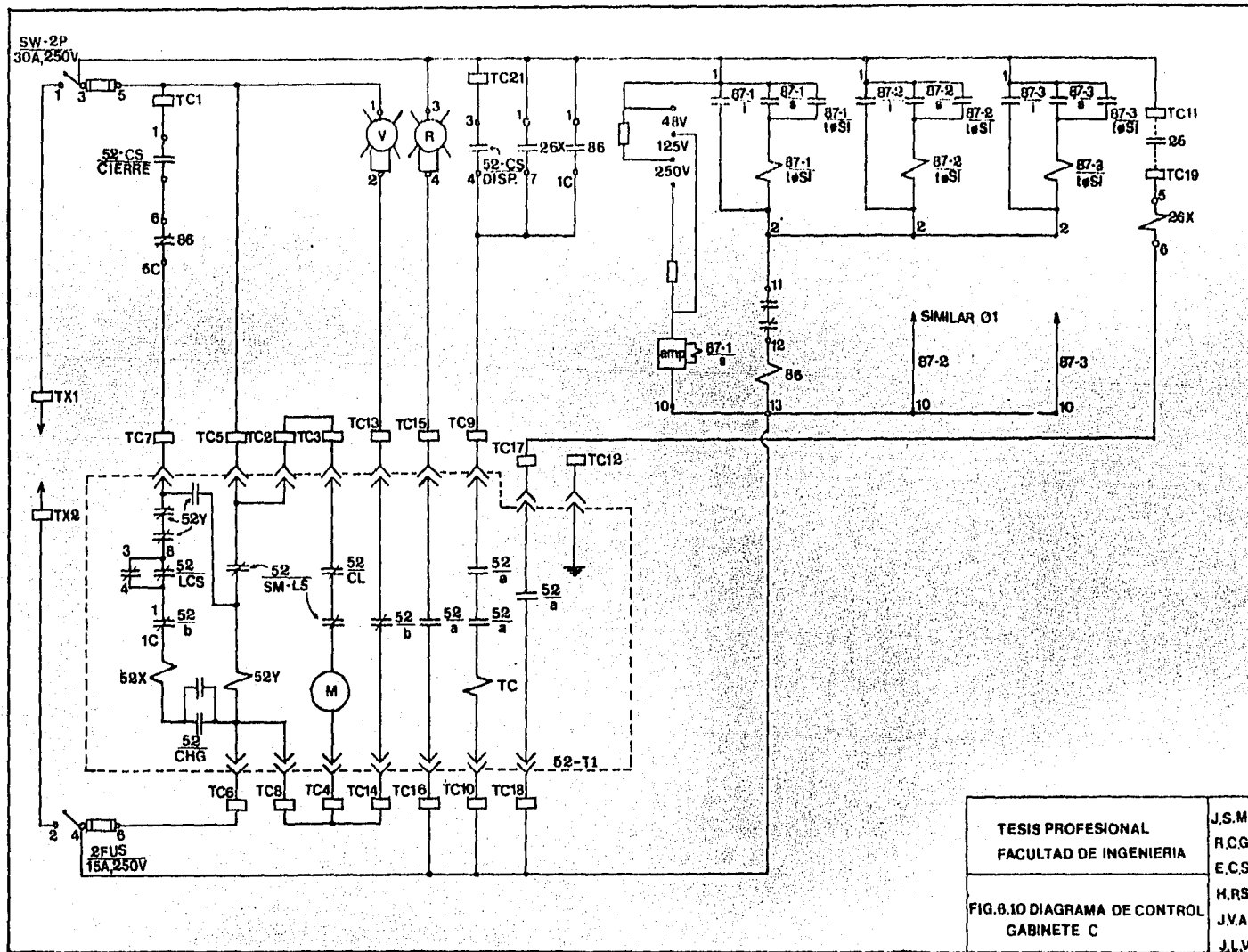
Para la conexión de los relevadores diferenciales se colocaron 3 TC'S de 100/5A en el primario del transformador, conectados en estrella, como se puede apreciar en el diagrama trifilar (Fig. 6.9)

La figura 6.10 nos muestra el diagrama de control del gabinete C. y la nomenclatura para dicho diagrama es la siguiente:





TESIS PROFESIONAL	J.S.M
FACULTAD DE INGENIERIA	R.C.G
	E.C.S
FIG.8.9 DIAGRAMA TRIFILAR	N.P.S
	J.V.A
GABINETE C	J.L.V.



52/a y 52/b.- Contactos auxiliares del interruptor

52X.- Bobina de cierre

M.- Motor para cargar el resorte

TC.- Bobina de disparo del interruptor

52/SM-LS.- Switch límite de carga del resorte (abre cuando el resorte está cargado).

52/CL.- Switch de bloqueo (se mantiene abierto entre las posiciones conectado - desconectado, para evitar operaciones indebidas)

52/CHG.- Contactos auxiliares del resorte (cerrados cuando el resorte está cargado)

52X.- Bobina para evitar el cierre del interruptor durante la carga del resorte.

52/LCS.- Switch para bloqueo de disparo (se cierra cuando el mecanismo se restablece solo).

SI.- Bobina para indicación de operación del relevador.

6.4.3.) GABINETE D.- En este gabinete se encuentran los elementos de protección y medición del circuito alimentador I, que son los siguientes:

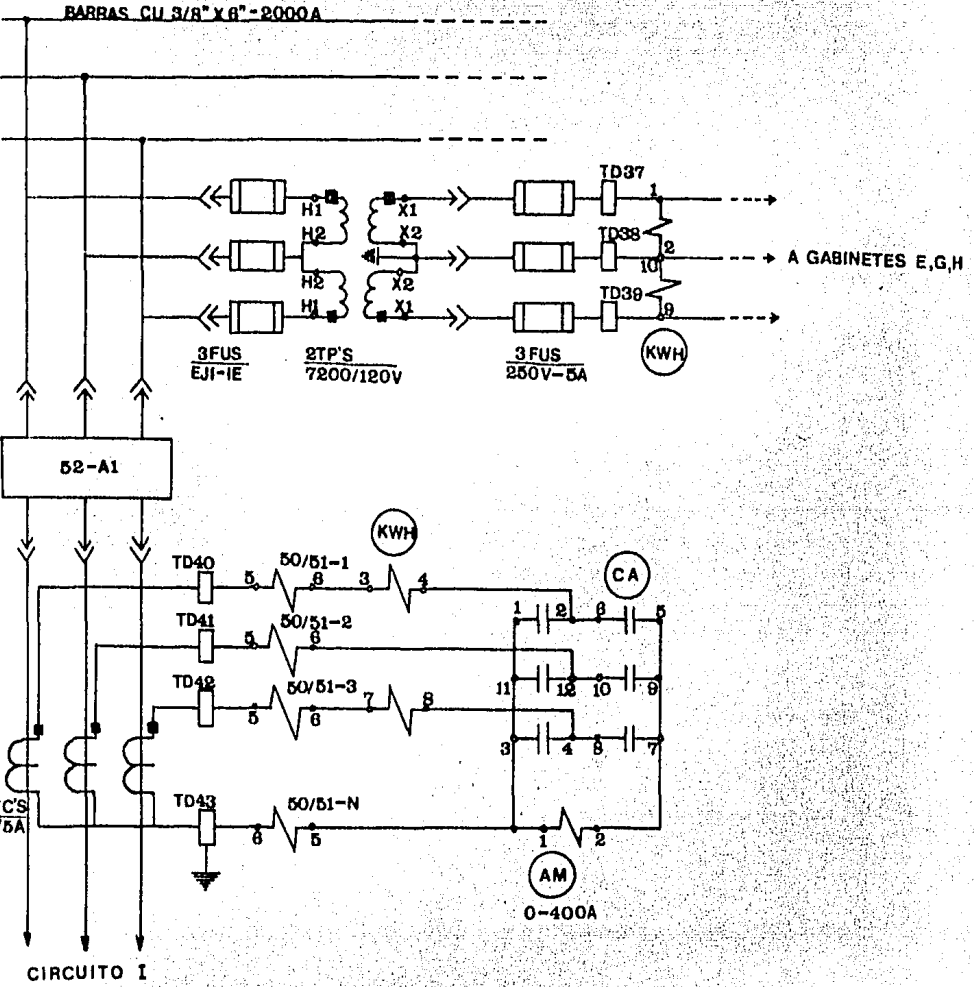
a) 4 relevadores de sobrecorriente (50/51-1, 50/51-2, -- 50/51-3 y 50/51-N).

- b) 1 relevador de recierre automático (79)
- c) 1 relevador de transferencia (43)
- d) 1 interruptor de potencia en aire, 500 MVA, 7.2 KV, 1,200 Amp., tipo POWER-VAC, marca G. E. (52-A1)
- e) 1 ampérmetro de 0 a 400 A. (AM)
- f) 1 kilowattorímetro (KWH)
- g) 1 conmutador ampérmetro (CA)
- h) 1 conmutador de control de cierre o disparo del interruptor 52-A1 (52-CS)
- i) 2 luces indicadoras
- j) 2 transformadores de potencial de 7,200/120V
- k) 3 transformadores de corriente de 150/5A.
- l) 3 barras de cobre, de 3/8" x 6', para 2,000 amp.

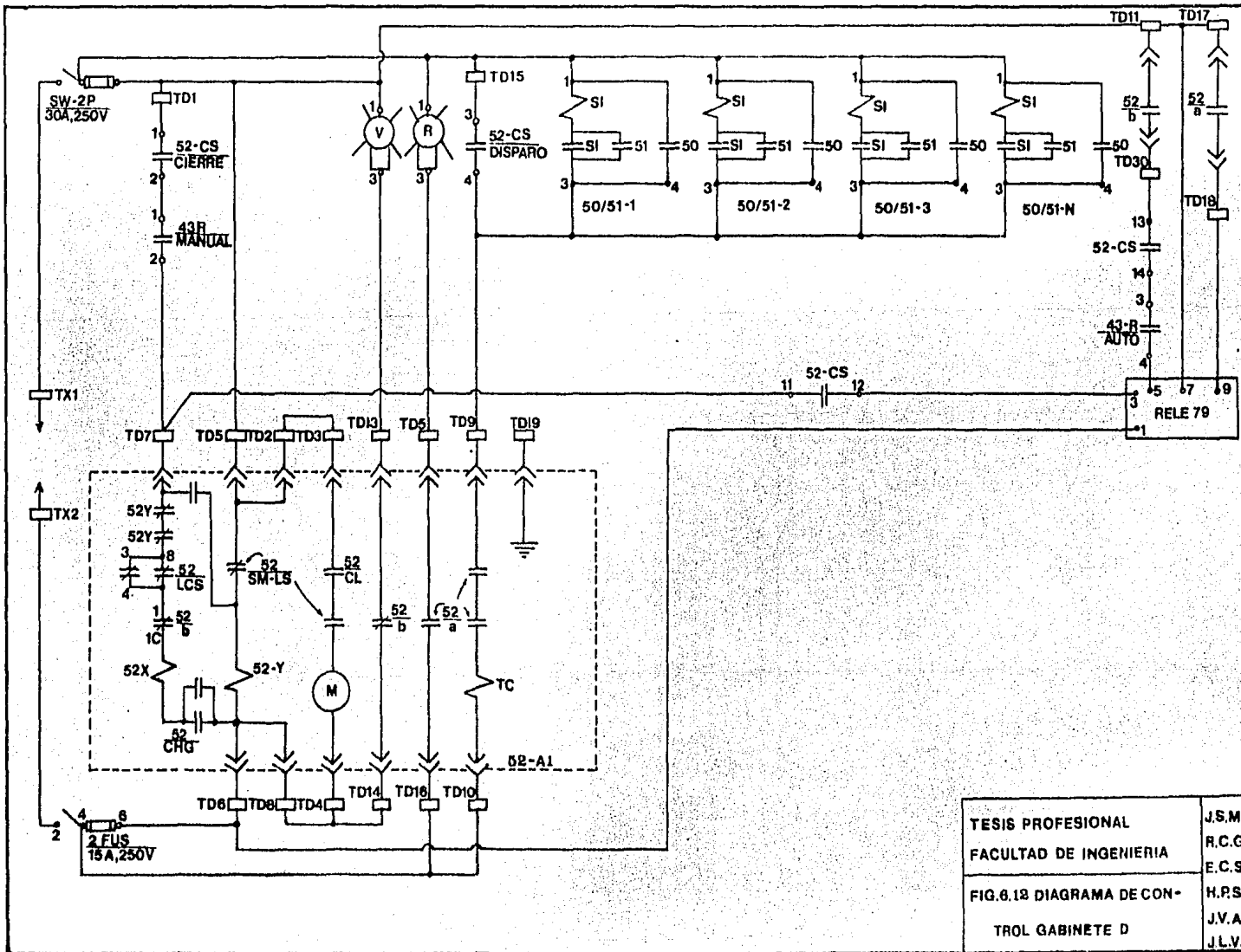
En el diagrama trifilar de la figura 6.11, podemos observar que solo se requieren 2 TP'S para conectar las bobinas de voltaje de los 4 kilowattorímetros, esto es, de los gabinetes D, E, G y H.

La nomenclatura para el diagrama de control del gabinete D (Fig. 6.12), es la misma que para el gabinete C.

6.5) TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION.- Este transformador sirve para alimentar el sistema de alumbrado y servicios pro--



TESIS PROFESIONAL	J.S.M.
FACULTAD DE INGENIERIA	R.C.G.
	E.C.S.
FIG.8.11 DIAGRAMA TRIFILAR	H.P.S.
GABINETE D	J.V.A.
	J.L.V.



TESIS PROFESIONAL	J.S.M.
FACULTAD DE INGENIERIA	R.C.G.
FIG.6.12 DIAGRAMA DE CON-	E.C.S.
TROL GABINETE D	H.P.S.
	J.V.A.
	J.L.V.

pios de la subestación.

Los datos de placa del transformador son:

- a) Capacidad: 45 KVA.
- b) Voltajes: 23 KV en el lado primario y en el embobinado secundario de 240/120V  $\pm$  2.5%
- c) Impedancia: 3.6% a 85°
- d) Frecuencia: 60 Hz
- e) Número de fases: 3
- f) Conexiones: Delta en el primario y estrella en el secundario
- g) Enfriamiento: Tipo OA, inmerso en aceite, autoenfriado
- h) Medio de aislamiento: Aceite (240 litros)
- i) Tipo de servicio: Intemperie, tipo estación.
- j) Peso total 640 kgs.
- k) Marca: IEM

6.6) ELECTRODUCTO DE BARRAS AISLADAS.- Son los ductos -- que contienen las barras de cada fase del secundario de cada uno de los tres transformadores de potencia, y que conectan dichos secundarios con las barras de los gabinetes de protección

Sus características son las siguientes:

- a) Voltaje: 7.2 KV.
- b) Corriente nominal: 600 Amp.
- c) Frecuencia: 60 Hz.
- d) Marca: General Electric
- e) Tipo: Intemperie
- f) Número de barras por ducto: 3

6.7) CADENAS DE TENSION.- Son elementos monofásicos que aíslan los conductores eléctricos de la estructura metálica de la subestación. Además, de ahí se derivan las conexiones al -- equipo de medición de la Cía. suministradora y a los apratarra yos. Los componentes de cada una de las cadenas de tensión --- son los siguientes:

- a) 3 aisladores de suspensión de porcelana de 254 mm. de diámetro, clase ANSI-NEMA-ASA 52.5 CAT. N-12, marca - IUSA.
- b) Gancho y bola
- c) Clema de tensión de fierro maleable galvanizado por - inmersión, marca OHIO BRASS.

6.8) CUCHILLAS DESCONECTADORES DE UN POLO.- Se utilizan -



para medición en alta tensión, donde no se justifican medidores permanentes, y sus características son:

- a) Tipo de servicio: intemperie
- b) Simple tiro
- c) Operación con pértiga
- d) Voltaje: 23 KV
- e) Corriente nominal: 400 Amp.
- f) Tipo de montaje: vertical
- g) Marca: IUSA, N° CAT. 23423

6.9) CUCHILLAS DESCONECTADORAS DE TRES POLOS.- Estas cuchillas sirven para poner en, o sacar de servicio un transformador de potencia, como se pueden observar con su número de referencia (9) en el plano N°

Sus características son:

- a) Número de polos: 3
- b) Tipo de servicio: intemperie
- c) Simple tiro
- d) Mecanismo de operación manual en grupo, a distancia
- e) Voltaje: 23 KV
- f) Corriente nominal: 600 Amp.

- g) Tipo de montaje: horizontal
- h) Cuernos de arqueo
- i) Marca: SELMEC, N° CAT. 75000B4

6.10) CUCHILLAS PORTAFUSIBLES DE UN POLO.- Son el medio de conexión y protección del transformador de distribución, y su descripción es la siguiente:

- a) Tipo de servicio: intemperie
- b) Simple tiro
- c) Operación con pértiga
- d) Voltaje: 23 KV
- e) Capacidad del fusible: 7 Amp.
- f) Tipo de montaje: vertical
- g) Marca: SELMEC, N° CAT. 92123

6.11) AISLADOR DE PORCELANA.- Sirven para aislar los tubos que forman el "bus" de alta tensión, de la estructura metálica de la subestación.

Sus características principales son:

- a) Tipo poste
- b) Voltaje por aislar: 23 KV

- c) Nivel básico de impulso (BIL): 170 KV
- d) Clase ANSI-NEMA-ASA: TR-7
- e) Medidas: 267 x 305 mm.
- f) Marca: IUSA, N° CAT. 2123

6.12) EQUIPO DE MEDICION DE CIA. SUMINISTRADORA.- El diseño e instalación de dicho equipo es responsabilidad de la Cía suministradora, y es propiedad de ella.

6.13) TUBO DE COBRE USO ELECTRICO.- Es el que forma el "bus" de alta tensión. Sus características son:

- a) Diámetro: 25 mm.
- b) Capacidad: 900 Amp.
- c) Longitud: 6.10 mts. cada tramo
- d) Marca: IUSA

6.14) CABLE DE COBRE DESNUDO.- Se utiliza para las conexiones a tierra del equipo y la estructura metálica de la subestación. Marca CONDUMEX, calibre 4/0 AWG.

6.15) CONECTOR PARA DERIVACION EN "T".- Para conectar tubo de 25 mm.  $\phi$  con otro tubo de 25 mm.  $\phi$ , CAT. NT-1515.

6.16) CONECTOR TERMINAL.- Para conectar de una barra -- plana a cable 4/0 AWG. Marca BURNDY, N° CAT KA-29

6.17) CONECTOR RECTO.- Son conectores rectos de expansion para tubo de 25 mm.  $\phi$ , marca BURNDY, N° CAT. XP-1515.

6.18) CONECTOR PARA DERIVACION EN "T".- Para conectar tubo de 25 mm.  $\phi$  y derivar con cable 4/0 AWG., marca BURNDY, N° CAT. 1528

6.19) CLEMAS DE SUJECION.- Para sujetar el tubo de 25 mm.  $\phi$ , marca BURNDY, N° CAT. LH 15-3.

## CAPITULO 7.- CONCLUSIONES

Con la puesta en servicio de la subestación N° 2, la zona de Institutos y centros de investigación del sur de Ciudad Universitaria, quedan alimentados independientemente del resto de C.U., y la subestación N° 1 vuelve a tener la carga normal para la que fué diseñada.

Dado el gran crecimiento que tiene C. U. actualmente, - sobre todo en la zona sur, donde se están construyendo más - edificios nuevos, es necesario realizar un estudio para proyectar una nueva subestación, evitando así los problemas y - gastos que se tuvieron con la subestación N° 1.

Las características principales que fueron consideradas fueron: Seguridad para el personal y el equipo, continuidad en el servicio, operación fácil y rápida de todos los componentes de la subestación, fácil accesibilidad a la misma y - flexibilidad para adaptarse a la expansión futura y a cambios imprevistos en la alimentación de diferentes cargas durante la vida útil de la subestación. El diseño propuesto para la subestación N° 2 de Ciudad Universitaria cumple con las características anteriores en todos sus sistemas, para las cargas propuestas en el capítulo 1.

El diseño de la subestación también incluyó consideraciones relativas al mantenimiento, ya que el equipo fué ---

escogido de tal manera que se pueda inspeccionar y reparar -  
fácilmente y con seguridad.

Por último, debemos señalar que aunque es una subesta--  
ción de mediana capacidad, todos los conceptos y criterios -  
de la Ingeniería Eléctrica que se aplicaron en este diseño -  
se aplican en la mayor parte de las subestaciones eléctricas  
modernas.

## B I B L I O G R A F I A

- Industrial Power Systems Handbook, Donald Beeman, U.S.A. 1955.
- IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, IEEE U.S.A. 1976.
- IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE, - U. S.A. 1975
- Redes Eléctricas I y II, Jacinto Viqueira L., México, -- 1979.
- Applied Protective Relaying, Westinghouse Electric Corp.
- Manual de diseño de subestaciones, Cía de luz y Fuerza - del Centro, México.
- Estaciones transformadoras y de distribución, G. Zappe-- tti, México, 1982.