

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

TEMAS SELECTOS DE INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES II
(SISTEMAS DE TIERRAS Y PRUEBAS DE CAMPO A EQUIPO)

TEMA 10
PRUEBAS ELECTRICAS DE CAMPO A EQUIPO

PONENTE: ING ENRIQUE OROZCO L.

AUTOR: ING. ENRIQUE JIMENEZ OLIVERA

PRUEBAS ELECTRICAS DE CAMPO A EQUIPOS EN INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES.

INDICE

1.-INTRODUCCION

2.- TEORIA DE PRUEBAS

2.1-RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

2.2-INDICES DE POLARIZACION Y ABSORCION

2.3-FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

2.4-INSTRUCCIONES PARA UTILIZAR EL MEGAOHMETRO

2.5-USO DE LA GUARDA

2.6-VOLTAJES RECOMENDADOS PARA LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

2.7-CLASIFICACION DE LOS INDICES DE ABSORCION Y POLARIZACION

2.8-METODOS DE MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

3.- PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA

3.1-PROCEDIMIENTO DE OPERACION DEL EQUIPO MEU

3.2-VARIACION DEL FACTOR DE POTENCIA CON LA TEMPERATURA

3.3-MEDICION DE CAPACITANCIA Y RESISTENCIA

3.4-PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE

4.- PRUEBAS DE RELACION DE TRANSFORMACION

4.1-TEORIA DE RELACION DE TRANSFORMACION

4.2-DESCRIPCION DEL TTR

4.3-EVALUACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.- PRUEBAS AL SISTEMA DE TIERRAS

5.1-RESISTENCIA DE ELECTRODOS ARTIFICIALES

5.2-ANALISIS DE RESULTADOS

6.- PRUEBAS DE ACEITE

6.1-INTRODUCCION

6.2-PRUEBAS DE LABORATORIO

6.3-PRUEBAS EN CAMPO

7- PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

7.1-PROBADOR DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

7.2-PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

7.3-ANALISIS DE RESULTADOS

8.- PRUEBAS DE TIEMPOS DE APERTURA Y CIERRE

8.1- FAVAG

8.2- MILLIGRAPH

8.3- ANALIZADOR CINCINNATI

8.4- ANALIZADOR TR-3000

9.- PRUEBAS DE CONTENIDO DE HUMEDAD

9.1- HIGROMETRO DE HIELO SECO

9.2- HIGROMETRO ALNOR

9.3- HIGROMETRO PANAMETRIC

10- APLICACIONES Y PRUEBAS

11- RECOMENDACIONES Y TECNICAS PARA PRUEBAS

11.1-PRUEBAS A SUBESTACIONES COMPACTAS

11.2-PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

11.3-PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA A TRANSFORMADORES

11.4-PRUEBAS AL ACEITE AISLANTE

11.5-PRUEBAS DE RELACION DE TRANSFORMACION

12.-CRITERIOS DE ACEPTACION

PRUEBAS ELECTRICAS DE CAMPO A EQUIPOS EN INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES

1.- INTRODUCCION

Las pruebas en campo son necesarias en varias etapas de una construcción o para mantenimiento eléctrico.

Todo equipo eléctrico es probado en fabrica , lo cual da una garantía al comprador, pero frecuentemente es necesario desarmar parte del equipo para su transporte al lugar de la instalación, y por tanto las condiciones de los aislamientos cambian a los prestablecidos en fabrica por lo cual todo equipo eléctrico deberá ser revisado al llegar al sitio de instalación y realizarse las pruebas necesarias, sobre todo en los aislamientos a los cuales les afecta directamente la humedad y algunos no deben se expuestos directamente al ambiente.

Conforme se está ensamblando el equipo se van realizando pruebas hasta el termino del ensamblado , al termino se realizan pruebas finales para la puesta en servicio y con esto tendremos la seguridad de que al momento de la energización el equipo no sufrirá ningún daño .

Todos los valores de las pruebas con los cuales entro en servicio el equipo son registrados y entregados al departamento de mantenimiento, para que al realizar las pruebas periódicas se compare los resultados y así se pueda detectar una falla en los aislamientos antes de que ocurra y poder corregirla.

Normalmente en todas las fabricas no se realizan mantenimientos predictivos , por no conocer los alcances de las pruebas necesarias a cada equipo y de sus componentes eléctricos.

~~Es por esto que se recomienda realizar pruebas al equipo eléctrico una o dos veces por año para asegurar que no habrá fallas eléctricas.~~

Para realizar un mantenimiento eléctrico predictivo y preventivo es necesario realizar las pruebas mas importantes con el equipo adecuado, para cada uno de los componentes eléctricos de una instalación industrial. (ver figura 1)

Los equipos necesarios para realizar las pruebas son:

- a) MULTIMETRO
- b) AMPERMETRO DE GANCHO.

c) MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

HOJA-2

d) MEDIDOR DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

e) MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA

f) MEDIDOR DE RELACION DE TRANSFORMACION

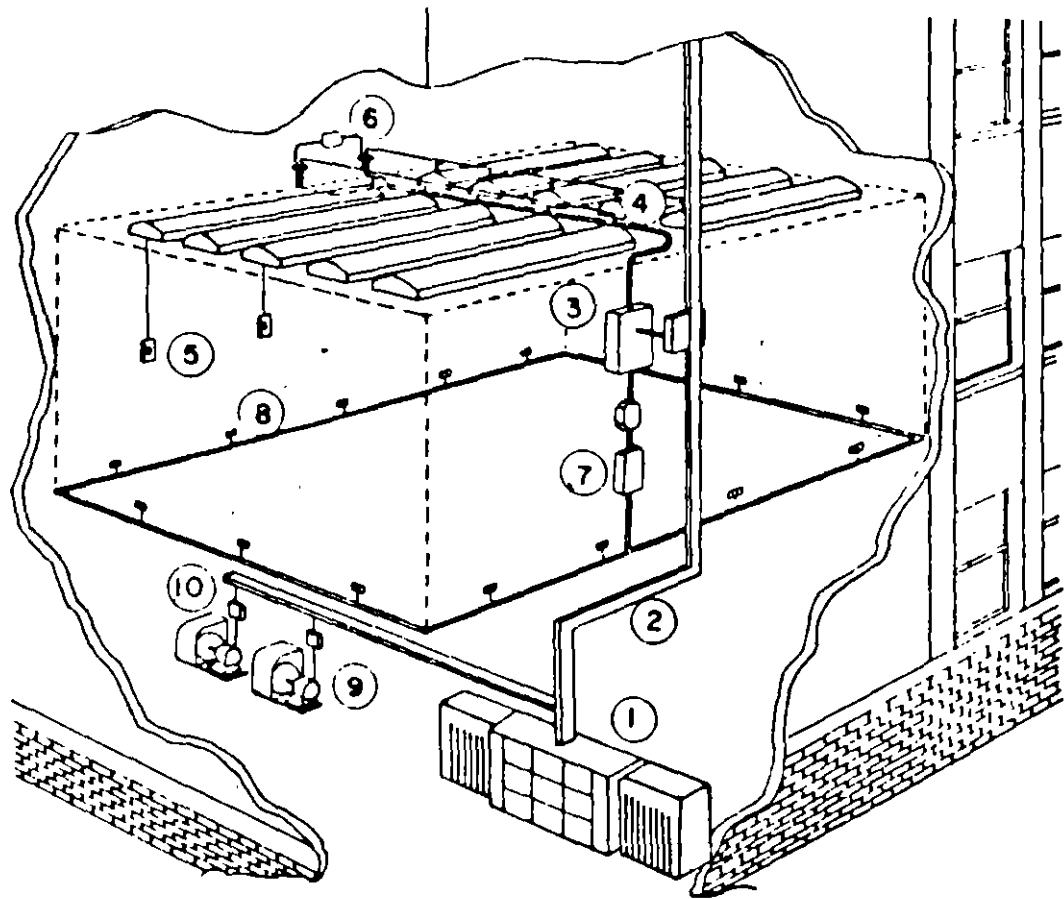
g) MEDIDOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA AL ACEITE

h) MEDIDOR DE TIEMPOS DE OPERACION

Los beneficios que alcanzamos con un programa planeado de inspección y pruebas son :

- 1) Ahorro económico debido a que se provocan incendios por fallas eléctricas.
- 2) Productividad en la empresa, ya que al detectarse con anticipación cualquier posible falla , la producción no se interrumpe. .
- 3) Continuidad en el servicio eléctrico.
- 4) Ahorro de energía eléctrica .

EQUIPO ELECTRICO EN UNA INSTALACION ELECTRICA INDUSTRIAL



- 1- SUBESTACION COMPACTA.
- 2- DUCTOS O BARRAS AISLADAS
- 3- TABLEROS DE ALUMBRADO.
- 4- LAMPARAS PARA ALUMBRADO GENERAL.
- 5- APAGADORES.
- 6- TUBERIAS CANALIZACIONES Y ACCESORIOS.
- 7- TABLEROS DE DISTRIBUCION
- 8- CONTACTOS
- 9- MOTORES
- 10- ARRANCADORES Y SEÑALIZACION

2.-TEORIA DE PRUEBAS

2.1- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La prueba de resistencia de aislamiento determina en forma aproximada el estado que se encuentran los aislamientos.

DEFINICION.- Es la resistencia en megaohms que presenta un aislamiento al aplicarse un voltaje de C.D durante un tiempo determinado .

A la corriente que resulta de la aplicación del voltaje de C.D.se conoce como corriente de aislamiento y consta de dos componentes :

- 1) La corriente que fluye dentro del aislamiento.
- 2) La corriente que fluye sobre la superficie.

1)La corriente que fluye dentro del aislamiento esta formada por :

- a) La corriente capacitiva que inicialmente tiene un valor elevado y disminuye con el tiempo.
- b) La corriente de absorción dielectrica la cual inicia con un valor bajo de resistencia de aislamiento y disminuye con el tiempo.
- c) La corriente de conducción , esta corriente fluye a través del aislamiento y es prácticamente constante.

2)La corriente que fluye sobre la superficie del aislamiento.-

A esta componente se le conoce como corriente de fuga, esta corriente permanece constante al igual de la corriente de conducción y ambas constituyen el factor primario para juzgar las condiciones del aislamiento.

2.2- INDICES DE POLARIZACION Y ABSORCION

La resistencia de aislamiento varia con el espesor del aislamiento e inversamente al área del mismo, cuando repentinamente se aplica un voltaje de corriente directa a un aislamiento , la resistencia se inicia con un valor bajo y gradualmente va aumentando con el tiempo hasta estabilizarse.

Este método consiste en aplicar el voltaje de prueba durante 10 minutos , tomando lecturas a los 15 , 30 , 45 y 60 segundos y después cada minuto.

Dado que la pendiente de la curva de absorción dielectrica nos indica las condiciones del aislamiento , esta pendiente puede ser expresada por el índice de absorción y polarización.

$$I \text{ absorción} = \frac{\text{Resistencia de aislamiento a 60 seg.}}{\text{Resistencia de aislamiento a 30 seg.}}$$

$$I \text{ polarizac} = \frac{\text{Resistencia de aislamiento a 10 min.}}{\text{Resistencia de aislamiento a 1 min.}}$$

La prueba de índices de absorción y polarización se utiliza normalmente cuando se tienen dudas en los valores de prueba de resistencia de aislamiento en equipos con gran cantidad de aislamiento.

2.3- FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

- 1) Condición de la superficie del aislamiento tales como carbón , polvo y aceite
- 2) Efecto de la humedad : Gran parte de los aislamientos son higroscopicos y por lo tanto absorben humedad ocasionando una reducción en la resistencia de aislamiento.
- 3) Efecto de la temperatura : la resistencia de aislamiento varia inversamente con la temperatura para mayor parte de los materiales aislantes.
 Para comparar apropiadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento , es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura o convertir cada medición a la misma base.
 Esta conversión se efectúa con la siguiente ecuación

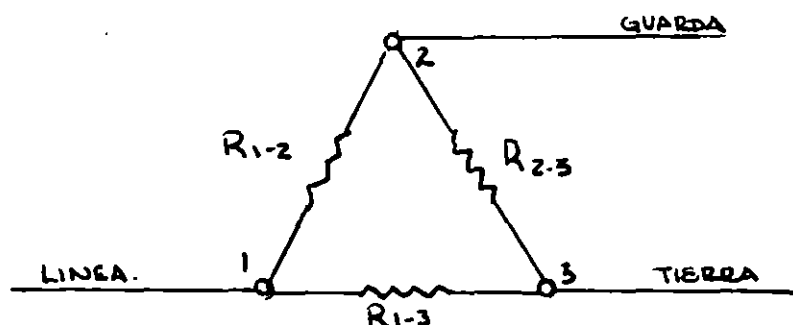
$$R_c = K_t \times R_t$$
 Rc= Resistencia de aislamiento en megaohms corregida a la temperatura base.
 Rt= Resistencia de aislamiento a la temperatura que se efectuó la prueba.
 Kt= Coeficiente de corrección por temperatura.

2.4- INSTRUCCIONES PARA UTILIZAR EL MEGAOHMETRO

- 1) Coloque el aparato en una base bien nivelada
- 2) Seleccione el voltaje de prueba a utilizar
- 3) Verifique el aparato con las pruebas de cero e infinito
- 4) Aterrice el equipo a probar para eliminar toda carga capacitiva.
- 5) Para evitar errores en la medición, utilice puentes de cobre desnudo.
- 6) Tome la lectura en el tiempo requerido.
- 7) Registre la temperatura de prueba.
- 8) Descargue el equipo probado

2.5- USO DE LA GUARDA

El propósito de esta terminal es contar con un medio para efectuar las mediciones en mayas de tres terminales, en tal forma de que pueda discriminarse el valor de una de las dos trayectorias.



Así en el caso de la figura anterior, utilizando las conexiones indicadas, se medirá la resistencia R_{1-2} directamente ya que las otras dos no entran en la medición por estar conectada la terminal tres a guarda.

2.6 VOLTAJES RECOMENDADOS PARA PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La medición de resistencia de aislamiento es una prueba donde se aplica potencial de c.d y por lo tanto se debe restringirse a valores apropiados, dependiendo de la tensión nominal de operación del equipo que se va a probar y de las condiciones que se encuentre su aislamiento ya que si la tensión de prueba es alta se puede provocar fatiga en el aislamiento.

Los potenciales usuales en los equipos de resistencia de aislamiento son de 100, 500, 1000, 2500 y 5000 VCD.

Las lecturas de resistencia de aislamiento , disminuyen al utilizar potenciales más altos, sin embargo para aislamientos en buenas condiciones y perfectamente secos se obtendrán valores muy próximos para diferentes tensiones de prueba, siempre y cuando no sobrepasen el valor nominal de operación del equipo que se esta probando.

VOLTAJES DE PRUEBA RECOMENDADOS

VOLTAJE DEL EQUIPO DE PRUEBA	VOLTAJE NOMINAL DE C.A DEL EQUIPO A PROBAR
100 Y 250 VCD	HASTA 125 V. INCLUYENDO EQUIPOS Y CIRCUITOS DE CONTROL
500 V	DE 125 A 400 V
1000 V	DE 400 EN ADELANTE
2500 A 5000 V	DE 1000 V EN ADELANTE

2.7- CLASIFICACION DE LOS INDICES DE ABSORCION Y POLARIZACION

INDICE DE ABSORCION	INDICE DE POLARIZACION	CLASIFICACION DEL AISLAMIENTO
MENOR DE 1	MENOR DE 1	PELIGROSO
DE 1 A 1.1	DE 1 A 1.5	POBRE
DE 1.1 A 1.25	DE 1.5 A 2	DUDOSO
DE 1.25 A 1.4	DE 2 A 3	REGULAR
DE 1.4 A 1.6	DE 3 A 4	BUENO
MAYOR DE 1.6	MAYOR DE 4	EXCELENTE

2.8- METODOS DE MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Existen 3 métodos prácticos para medir la resistencia de aislamiento ;

1) Método de tiempo corto.- Este método es el normalizado y consiste en aplicar el voltaje durante 1 minuto , con objeto de

efectuar comparaciones bajo la misma base con los datos de prueba existentes y futuros .

2) Método de tiempo-resistencia o Absorción Dieléctrica.- Este método consiste en aplicar el voltaje de prueba durante un período de 10 minutos tomando lecturas a intervalos de un minuto.

El método proporciona una mejor referencia para evaluar el estado de los aislamientos , en aquellos equipos con características de absorción notable, como son las grandes maquinas rotatorias y transformadores de potencia, sobre todo cuando no existen valores de referencia de pruebas anteriores.

3) Método de Voltajes Múltiples.- Este método tiene su principal aplicación en la evaluación de aislamientos de maquinas rotatorias y transformadores.

Su aplicación requiere el uso de un instrumento con varios voltajes para poder aplicar dos o más voltajes en pasos , por ejemplo; 500 V y después con 1000 V .

Este método se apoya en el hecho de que conforme se aumenta el voltaje de prueba, se aumentan los esfuerzos dielectricos sobre el aislamiento , al aproximarse a superar las condiciones de operación.

La influencia de los puntos débiles del aislamiento en las lecturas de la resistencia adquirirá mayor importancia hasta hacerse decisiva al sobrepasar cierto limite, cuando esto ocurre se tendrá una caída pronunciada en el valor de resistencia de aislamiento que se aprecia claramente al graficar las lecturas obtenidas contra el voltaje aplicado.

De preferencia los voltajes aplicados deben estar en la relación de 1 a 5 o mayor. (por ejemplo 500 y 2500 V).

3.-PRUEBAS DE FACTOR DE FACTOR DE POTENCIA.

El factor de potencia en la actualidad es la principal herramienta para juzgar con mayor criterio las condiciones de los aislamientos de equipo eléctrico.

Con estas pruebas podemos detectar :

Degradación
Envejecimiento
Contaminación
Humedad

Definición.- El factor de potencia de un aislamiento es el coseno del ángulo del voltaje aplicado y la corriente de carga.

En cualquier circuito de corriente alterna el factor de potencia de un dielectrico es :

$$F.P = \frac{P}{ExI} = \cos \phi$$

Para realizar la prueba de factor de potencia existen equipos de la marca Doble Engineering en sus dos modelos tipo MEU y M2H con voltajes de prueba 2.5 KV y 10 KV respectivamente .

De estos equipos se obtienen las mediciones de Watts , Volts , y Amperes .

Con estos instrumentos de prueba se pueden realizar las mediciones en tres formas diferentes para determinar las características de un aislamiento y de esta manera analizar con exactitud la localización de un aislamiento deteriorado, las mediciones que pueden ser seleccionadas son . GROUND , GUARD , Y UST.

Las expresiones empleadas para calcular el % factor de potencia:

$$\text{Para 2.5 KV} \quad \% F.P = \frac{MW}{MVA} \times 100$$

$$\text{Para 10 KV} \quad \% F.P = \frac{WATTS}{MILIAMP} \times 10$$

El equipo de la Doble , puede realizar las mediciones de factor de potencia a voltajes menores de 2.5 KV y utilizamos las siguientes expresiones :

$$MVA \text{ actuales} = 0.16 \times MVA \text{ leídos} \times (KV \text{ pba})^2$$

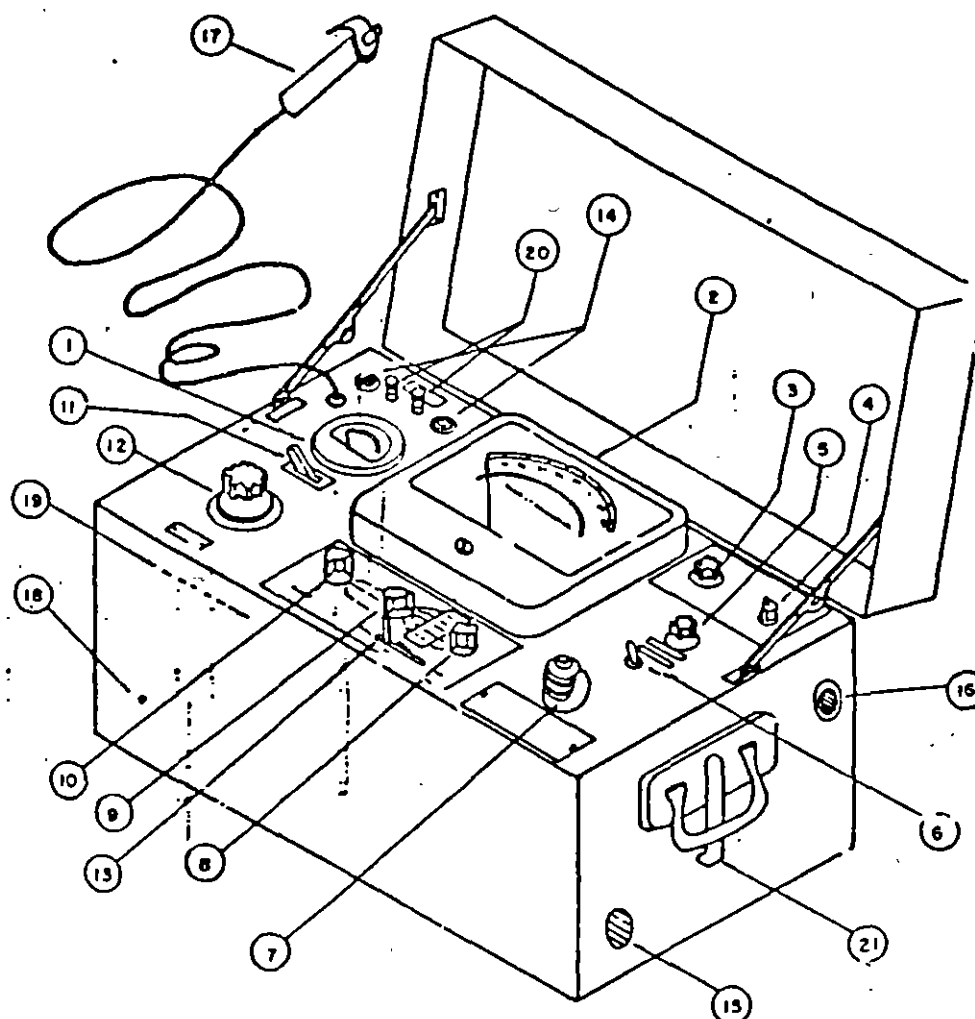
$$MVA \text{ actuales} = 0.16 \times MW \text{ leídos} \times (KV \text{ pba})^2$$

3.1- PROCEDIMIENTO DE OPERACION DEL EQUIPO MEU.

Por seguridad el equipo siempre debe estar aterrizado con una tierra firme con la cual el equipo cuenta.

Se procede a conectar los cables de alta y baja tensión del equipo de prueba al equipo a probar.

Antes de operar el interruptor general, debe verificarse que el reostato para elevar la tensión este en cero , el selector en posición check, los rangos de las escalas en los más altos para MVA y MW , y el interruptor reversible en posición "ON".



PARTES PRINCIPALES DEL MEU

- 1.- VOLTMETRO
- 2.- INDICADOR DE mVA y mW.
- 3.- PERILLA PARA AJUSTE DE MEDICION.
- 4.- L.V. SWITCH. (GROUND, GUARD Y UST).
- 5.- PERILLA DE POLARIDAD.
- 6.- REV. SWITCH PARA COMPROBACION DE LECTURAS (DIRECTA-FUERA-INVERSA)
- 7.- AJUSTE DE MILIWATTS (mW ADJ).
- 8.- PERILLA PARA RANGOS DE mW (MILI-WATTS).
- 9.- PERILLA PARA RANGOS DE mVA. (MILI-VOLTAMPERES
- 10.- PERILLA PARA RANGOS DE MEDIDA. (HIG, MED Y LOW)
- 11.- SWITCH DE ENCENDIDO (ON - OFF)
- 12.- PERILLA PARA RANGOS DE VOLTAJE
- 13.- SWITCH SELECTOR (mVA, CHECAR Y mW)
- 14.- FOCOS PILOTO VERDE Y ROJO.
- 15.- ENTRADA PARA CABLES DE PRUEBA DE ALTA TENSION.
- 16.- ENTRADA PARA CABLES DE PRUEBA, GUARDA O BAJO VOLTAJE.
- 17.- SWITCH DE SEGURIDAD.
- 18.- ENTRADA PARA CONECTAR SWITCH DE SEGURIDAD.
- 19.- CLAVIJA PARA ALIMENTACION DE C.A.
- 20.- FUSIBLES DE PROTECCION.
- 21.- PUNTO PARA CONEXION A TIERRA DEL APARATO.

Comprobando lo anterior se procede a energizar el equipo a probar para lo cual es necesario cerrar los interruptores de seguridad de mano , al hacer esto la luz verde se apaga y prende la luz roja . Si esto no sucede significa que la polaridad de alimentación de c.a de 127 V , se encuentra invertida , por lo tanto se debe invertir la clavija de alimentación.

Por medio del reostato de tensión se va elevando el voltaje hasta obtener el voltaje requerido , ajustando al mismo tiempo la escala del medidor de MVA y MW por medio de su perilla de ajuste (Meter Adjustment).

El selector se coloca en la posición de MVA y se selecciona el rango más legible y se toma la lectura obtenida , esta se comprueba con el interruptor reversible (Reversin Switch).

El siguiente paso es colocar el sw en la posición de MW y se selecciona el rango más legible, se registra y se comprueba con el interruptor reversible en ambas posiciones, con esto se queda terminada la medición debiéndose regresarse todos los controles a su posición inicial.

3.2- VARIACION DEL F.P CON LA TEMPERATURA

Como el factor de potencia de cualquier equipo varia con la temperatura , es importante que los valores de factor de potencia sean ajustados a una base común para propósitos de comparación , en la siguiente tabla proporcionada por la doble se muestran los valores de corrección por temperatura .

3.3- MEDICION DE CAPACITANCIA Y RESISTENCIA

El equipo de prueba cuenta con la capacidad de realizar las mediciones de capacitancia , cuando el factor de potencia es menor del 15% y puede ser calculado con la siguiente expresión :

$$C = 0.425 \times MVA \quad (\text{pf a } 2.5 \text{ KV})$$

Otra característica que puede medir el equipo de prueba es la resistencia equivalente en C.A. a través de la siguiente expresión

$$R = \frac{6250}{MW} \quad \text{Megaohm a } 2.5 \text{ KV}$$



TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS
AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 20°C

BUSHINGS												
ABB	ASEA	BROWN BOVERI		TEST TEMPERATURES		GENERAL ELECTRIC						HAEFELY
Type O + C	All GO Types 25-765 kV	Types CTF, CTKF 20-60 kV	Types CTF, CTKF 85-330 kV	°C	°F	Type B	Type F	Types L, LC, LI, LM	Types OF, OFI, OFM	Types S, SI, SIM (Cpd.-Filled)	Types TandU	Types COT, COS, SOT
.87	.79	1.24	1.00	0	32.0	1.09	.93	1.00	1.18	1.26	1.02	—
.89	.81	1.22	↑	2	35.6	1.09	.95	1.00	1.16	1.24	1.02	—
.91	.83	1.20		4	39.2	1.09	.97	1.00	1.15	1.21	1.02	—
.92	.85	1.17		6	42.8	1.08	.98	1.00	1.13	1.19	1.01	—
.93	.87	1.15		8	46.4	1.08	.99	1.00	1.11	1.16	1.01	—
.94	.89	1.12		10	50.0	1.07	.99	1.00	1.10	1.14	1.01	0.88
.95	.92	1.10		12	53.6	1.06	.99	1.00	1.08	1.11	1.01	0.90
.96	.94	1.06		14	57.2	1.05	1.00	1.00	1.06	1.08	1.01	0.93
.98	.95	1.05		16	60.8	1.04	1.00	1.00	1.04	1.06	1.00	0.95
.99	.98	1.03		18	64.4	1.02	1.00	1.00	1.02	1.03	1.00	0.98
1.00	1.00	1.00	1.00	20	68.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.01	1.03	.98	↓	22	71.6	.97	.99	.99	.97	.97	1.00	1.02
1.02	1.05	.96		24	75.2	.93	.97	.99	.94	.93	1.00	1.04
1.03	1.07	.94		26	78.8	.90	.96	.98	.91	.90	.99	1.07
1.04	1.09	.91		28	82.4	.85	.94	.97	.88	.87	.99	1.09
1.05	1.12	.88		30	86.0	.81	.92	.96	.86	.84	.98	1.11
1.06	1.14	.86		32	89.6	.77	.89	.95	.83	.81	.97	1.13
1.07	1.17	.84		34	93.2	.73	.87	.94	.80	.77	.97	1.15
1.07	1.19	.82		36	96.8	.69	.84	.93	.77	.74	.96	1.17
1.08	1.21	.80		38	100.4	.65	.81	.91	.74	.70	.95	1.19
1.08	1.23	.78		40	104.0	.61	.78	.89	.70	.67	.94	1.21
1.09	1.26	.76		42	107.6	—	.74	.87	.67	.63	.93	1.22
1.10	1.28	.74		44	111.2	—	.70	.85	.63	.60	.91	1.24
1.10	1.30	.72		46	114.8	—	.64	.83	.61	.56	.89	1.25
1.11	1.31	.70		48	118.4	—	.58	.82	.58	.53	.87	1.26
1.11	1.33	.68		50	122.0	—	.52	.80	.56	.50	.86	1.27
1.11	1.34	.66		52	125.6	—	—	.79	.53	.47	.84	1.28
1.11	1.36	.64		54	129.2	—	—	.78	.51	.44	.82	1.29
1.11	1.37	.62		56	132.8	—	—	.77	.49	.41	.79	1.30
1.12	1.37	.60		58	136.4	—	—	.76	.46	.38	.77	1.29
1.12	1.33	.58	1.00	60	140.0	—	—	.74	.44	.36	.75	.7



TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS
AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 20°C (BUSHINGS - continued)

LAPP			McGRAW-EDISON	MICAFIL	MICANITE AND INSULATORS CO.		TEST TEMPERATURES		OHIO BRASS				PASSONI VILLA	WESTINGHOUSE		
Class ¹ ERC 15-23 kV	Class PRC 15-69 kV	Class POC 15-765 kV	Types P, PA, PB	Types WTxF	25-69 kV	Above 69 kV	°C	°F	Class G or L 46- 138 kV	Class L 7.5 34.5 kV	Class GK 15- 500 kV	Class LK 15- 69 kV	Types PTAO, 3 PV.F 25-230 kV	Con- denser, except Type O	Types O O-Al OC	Types O + and O + C
.90	.81	1.00	.68	—	1.55	1.13	0	32.0	1.54	1.29	.90	.85	.65	1.61	.88	.87
.91	.83	↑	.70	—	1.49	1.11	2	35.6	1.47	1.26	.91	.86	.69	1.52	.89	.89
.92	.86		.72	—	1.43	1.10	4	39.2	1.40	1.24	.91	.87	.74	1.44	.90	.91
.93	.88		.76	—	1.37	1.08	6	42.8	1.34	1.21	.92	.89	.78	1.36	.91	.92
.94	.89		.79	—	1.31	1.07	8	46.4	1.29	1.19	.92	.90	.82	1.30	.93	.93
.95	.92		.82	—	1.25	1.06	10	50.0	1.24	1.16	.93	.92	.86	1.23	.94	.94
.96	.94	↑	.85	—	1.20	1.05	12	53.6	1.18	1.12	.94	.93	.89	1.18	.95	.95
.97	.95		.87	1.00	1.15	1.04	14	57.2	1.14	1.09	.95	.95	.92	1.13	.96	.96
.98	.97		.93	1.00	1.10	1.02	16	60.8	1.09	1.06	.97	.96	.95	1.09	.98	.98
.99	.98		.96	1.00	1.05	1.01	18	64.4	1.04	1.03	.98	.98	.97	1.04	.99	.99
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	20	68.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00		1.02	↓	.96	.99	22	71.6	.95	.97	1.02	1.02	1.02	.96	1.01	1.01
1.01	1.03		1.10		.91	.98	24	75.2	.91	.94	1.04	1.04	1.05	.92	1.02	1.02
1.02	1.05		1.14		.87	.96	26	78.8	.88	.91	1.06	1.06	1.07	.88	1.04	1.03
1.02	1.07		1.18		.84	.95	28	82.4	.84	.88	1.09	1.08	1.09	.84	1.05	1.04
1.03	1.10		1.24		.80	.94	30	86.0	.80	.86	1.11	1.10	1.11	.81	1.06	1.05
1.03	1.11		1.29		.77	.93	32	89.6	.77	.83	1.13	1.12	1.13	.77	1.07	1.06
1.04	1.12		1.32		.74	.92	34	93.2	.74	.80	1.15	1.14	1.16	.74	1.08	1.07
1.04	1.13		1.36	1.00	.70	.90	36	96.8	.71	.78	1.17	1.15	1.17	.70	1.08	1.07
1.05	1.14		1.41	.99	.67	.89	38	100.4	.68	.75	1.19	1.17	1.18	.67	1.09	1.08
1.05	1.15		1.45	.98	.64	.88	40	104.0	.65	.72	1.21	1.18	1.18	.64	1.09	1.08
1.05	1.15		1.50	.98	.61	.87	42	107.6	—	—	1.22	1.19	1.20	.62	1.10	1.09
1.06	1.15		1.55	.97	.58	.86	44	111.2	—	—	1.24	1.20	1.22	.59	1.11	1.10
1.06	1.15		1.58	.97	.55	.85	46	114.8	—	—	1.26	1.21	1.24	.56	1.11	1.10
1.07	1.14		1.61	.96	.52	.84	48	118.4	—	—	1.27	1.21	1.24	.53	1.10	1.11
1.07	1.13		1.65	.95	.50	.83	50	122.0	—	—	1.29	1.22	1.25	.51	1.10	1.11
1.07	1.11	↓	1.67	.94	—	—	52	125.6	—	—	1.30	1.22	1.26	.50	1.10	1.11
1.08	1.09		1.67	.94	—	—	54	129.2	—	—	1.31	1.22	1.26	.48	1.09	1.11
1.08	1.07		1.67	.90	—	—	56	132.8	—	—	1.33	1.22	1.26	.47	1.08	1.11
1.07	1.06		1.68	.90	—	—	58	136.4	—	—	1.34	1.21	1.26	.46	1.07	1.12
1.07	1.05		1.68	.92	—	—	60	140.0	—	—	1.35	1.21	1.25	.45	1.06	1.12

¹This curve is applicable to those ERC bushings which were manufactured after March 1967 (S/N 3530 or higher).



TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 20°C

INSULATING FLUIDS					
TEST TEMPERATURES		ASKAREL	CONVENTIONAL INSULATING OIL	SILICONE OILS	
°C	°F			New	Service Aged
0	32.0	—	1.56	—	—
2	35.6	—	1.52	—	—
4	39.2	—	1.48	—	—
6	42.8	—	1.45	—	—
8	46.4	—	1.43	—	—
10	50.0	—	1.38	—	—
12	53.6	—	1.31	—	—
14	57.2	—	1.24	—	—
16	60.8	—	1.16	—	—
18	64.4	—	1.08	—	—
20	68.0	1.00	1.00	1.00	1.00
22	71.6	.90	.91	0.81	0.76
24	75.2	.81	.83	0.66	0.57
26	78.8	.72	.76	0.65	0.50
28	82.4	.64	.70	0.62	0.45
30	86.0	.56	.63	0.54	0.40
32	89.6	.51	.58	0.52	0.37
34	93.2	.46	.53	0.45	0.34
36	96.8	.42	.49	0.42	0.31
38	100.4	.39	.45	0.36	0.29
40	104.0	.35	.42	0.30	0.26
42	107.6	.33	.38	0.26	0.25
44	111.2	.30	.36	0.24	0.23
46	114.8	.28	.33	0.18	0.21
48	118.4	.26	.30	0.16	0.19
50	122.0	.24	.28	0.13	0.18
52	125.6	.22	.26	0.11	0.16
54	129.2	.21	.23	—	—
56	132.8	.19	.21	—	—
58	136.4	.18	.19	—	—
60	140.0	.16	.17	—	—

TMCF-3960

GRADING-CAPACITOR ASSEMBLIES FOR GENERAL ELECTRIC 115/230/345-kV ATB BREAKERS			
TEST TEMPERATURES		POWER FACTOR	CAPACITANCE
°C	°F		
-17.8	0	.09	.80
-15.0	5	.10	.80
-12.2	10	.11	.80
-9.4	15	.12	.80
-6.7	20	.14	.80
-4.0	25	.17	.80
-1.1	30	.21	.82
1.7	35	.27	.84
4.5	40	.32	.85
7.2	45	.40	.88
10.0	50	.47	.90
12.8	55	.61	.92
15.5	60	.80	.94
18.3	65	.89	.98
20.0	68	1.00	1.00
21.1	70	↓	1.01
23.9	75		1.04
26.7	80		1.06
29.4	85		1.10
32.2	90		1.12
35.0	95		1.15
37.8	100		1.19
43.3	110		1.25
48.9	120		1.32
—	—		—
—	—		—
—	—		—
—	—		—
—	—		—
—	—		—
—	—		—

©1993 Doble Engineering Company
All rights reserved

9-C



**TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS
AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 20°C**

LIQUID-FILLED TRANSFORMERS, SHUNT REACTORS, AND VOLTAGE REGULATORS															
POWER TRANSFORMERS (Above 500 kVA)				DISTRIBUTION TRANSFORMERS (500 kVA and Below)								PTs/VTs, CTs, and MOs			
Askarel-Filled Trans.	Oil-Filled Transformers			Silicone	Askarel	Oil-Filled		Silicone	TEST TEMPERATURES		HV/EHV Shunt Reactors (Oil-Filled)	Voltage Regulators (Oil-Filled)	Askarel	Oil-Filled	
	Free Breathing and Older Conservator Types	Sealed, Gas-blanketed and Modern Conservator Types				Prior to 1950	Modern		°C	°F				Modern, Rated 220 kV and Above	All Others
		≤ 161 kV	≥ 161 kV												
—	1.56	1.57	.95	—	—	1.56	1.57	—	0	32.0	.95	1.56	—	1.57	1.67
—	1.52	1.50	.96	—	—	1.52	1.50	—	2	35.6	.96	1.52	—	1.50	1.61
—	1.48	1.44	.98	—	—	1.48	1.44	—	4	39.2	.98	1.48	—	1.44	1.55
—	1.45	1.37	.98	—	—	1.45	1.37	—	6	42.8	.98	1.45	—	1.37	1.49
—	1.43	1.31	.99	—	—	1.43	1.31	—	8	46.4	.99	1.43	—	1.31	1.43
—	1.38	1.25	.99	—	—	1.38	1.25	—	10	50.0	.99	1.38	—	1.25	1.36
—	1.31	1.19	1.00	—	—	1.31	1.19	—	12	53.6	1.00	1.31	—	1.19	1.30
—	1.24	1.14	1.01	—	—	1.24	1.14	—	14	57.2	1.01	1.24	—	1.14	1.23
—	1.16	1.09	1.01	—	—	1.16	1.09	—	16	60.8	1.01	1.16	—	1.09	1.16
—	1.08	1.05	1.00	—	—	1.08	1.05	—	18	64.4	1.00	1.08	—	1.05	1.08
100	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	20	68.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
90	.91	.98	.99	.96	90	.91	.96	.96	22	71.6	.99	.91	.90	.96	.93
81	.83	.92	.98	.92	81	.83	.92	.92	24	75.2	.98	.83	.81	.92	.86
72	.76	.88	.97	.88	72	.76	.88	.88	26	78.8	.97	.76	.72	.88	.80
64	.70	.84	.96	.84	64	.70	.84	.84	28	82.4	.96	.70	.64	.84	.74
56	.63	.80	.95	.80	56	.63	.80	.80	30	86.0	.95	.63	.56	.80	.69
51	.58	.76	.94	.76	51	.58	.76	.76	32	89.6	.94	.58	.51	.76	.65
46	.53	.73	.93	.73	46	.53	.73	.73	34	93.2	.93	.53	.46	.73	.60
42	.49	.70	.91	.70	42	.49	.70	.70	36	96.8	.91	.49	.42	.70	.56
39	.45	.67	.90	.67	39	.45	.67	.67	38	100.4	.90	.45	.39	.67	.52
35	.42	.65	.89	.65	35	.42	.65	.65	40	104.0	.89	.42	.35	.65	.48
33	.38	.62	.87	.62	33	.38	.62	.62	42	107.6	.87	.38	.33	.62	.45
30	.36	.59	.86	.59	30	.36	.59	.59	44	111.2	.86	.36	.30	.59	.42
28	.33	.56	.84	.56	28	.33	.56	.56	46	114.8	.84	.33	.28	.56	—
26	.30	.54	.83	.54	26	.30	.54	.54	48	118.4	.83	.30	.26	.54	—
24	.28	.51	.81	.51	24	.28	.51	.51	50	122.0	.81	.28	.24	.51	—
22	.26	.49	.79	.49	22	.26	.49	.49	52	125.6	.79	.26	.22	.49	—
21	.23	.47	.77	.47	21	.23	.47	.47	54	129.2	.77	.23	.21	.47	—
19	.21	.45	.75	.45	19	.21	.45	.45	56	132.8	.75	.21	.19	.45	—
18	.19	.43	.72	.43	18	.19	.43	.43	58	136.4	.72	.19	.18	.43	—
16	.17	.41	.70	.41	16	.17	.41	.41	60	140.0	.70	.17	.16	.41	—

Para realizar un analisis de cada una de estas mediciones que realiza el equipo de factor de potencia nos referimos a la siguiente figura , en donde se representan los diferentes circuitos simplificados para cada caso :

EN LA POSICION GROUND (TIERRA).-

Se mide la suma del total de las corrientes que se derivan por el cable de guarda y por tierra , es decir $G + T$

La resistencia de rango R limita a un valor despreciable la corriente que no pasa por el circuito de medición.

EN LA POSICION GUARD (GUARDA).-

La corriente del cable de guarda es discriminada la derivarse sin pasar por el circuito de medición y solamente es medida la corriente que regresa al aparato por su conexión a tierra , solo mide T .

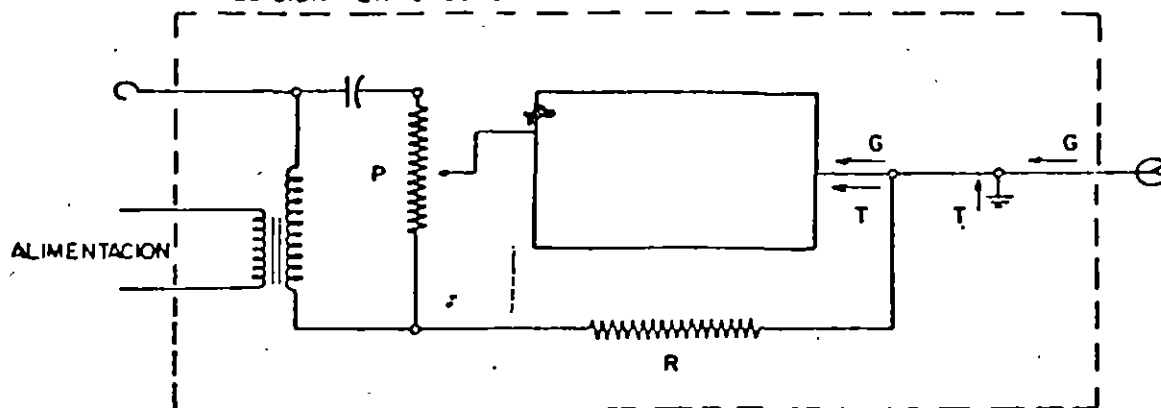
EN LA POSICION UST (MUESTRA SIN CONEXION A TIERRA).-

Se mide solamente la corriente que regresa al aparato por el cable de guarda y queda derivada sin pasar por el circuito de medición la corriente que regresa por tierra .

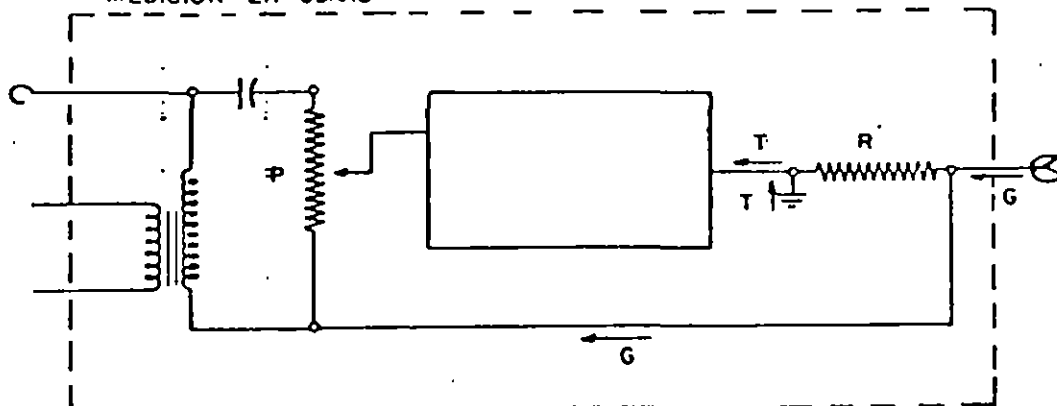
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

MEDICIONES DEL MEU

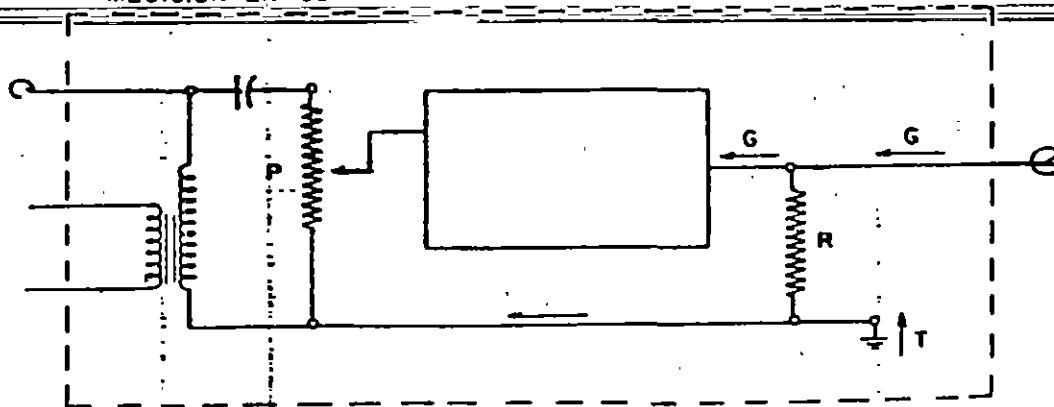
MEDICION EN GROUND



MEDICION EN GUARD



MEDICION EN UST



3.4- PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE

HOJA-10

Sabemos que la porcelana es uno de los principales aislamientos en el equipo electrico.

A través del equipo de factor de potencia podemos realizar la prueba de collar caliente la cual nos puede detectar :

HUMEDAD
CONTAMINACION
FISURAS (DAÑOS A LA PORCELANA)

PRUEBA DE COLLAR SIMPLE.-

En las pruebas de collar simple , el collar es energizado por el equipo de prueba y el centro del conductor es aterrizado.

La prueba es usualmente realizada con un collar enredado en la superficie de la porcelana.

Si las pérdidas o la corriente son apreciablemente altas , entonces una segunda prueba deberá realizarse ,removiendo el collar y teniendo la precaución de que el collar este bien ajustado a la porcelana .

Esta prueba se realiza para poder detectar el punto donde se encuentra la porcelana dañada .

PRUEBAS DE COLLAR MULTIPLE.-

La prueba de collar multiple realiza , uniendo varios collares los cuales son enredados en la porcelana .

La prueba se realiza de la misma manera que la prueba de collar simple , con esta prueba detectamos la condición total de la porcelana .

CRITERIOS DE ACEPTACION DE COLLAR CALIENTE.-

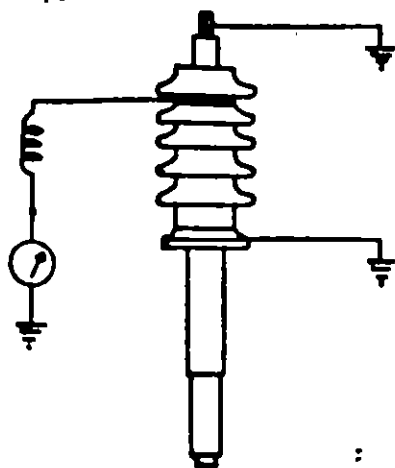
El fabricante del equipo de prueba marca Doble recomienda :

Con voltaje de prueba de 2.5 KV las pérdidas dieléctricas deben ser menores a 9 miliwatts.

Con voltaje de prueba de 10 KV las pérdidas dieléctricas deben ser menores a 0.15 W.

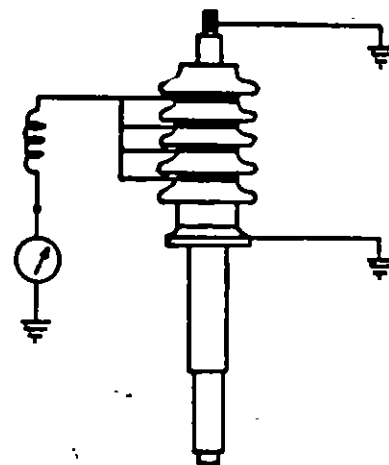
4.- PRUEBAS DE RELACION DE TRANSFORMACION

Para conocer la relación de espiras primarias o secundarias en un transformador ,se utiliza el aparato llamado TTR y la forma más satisfactoria de medir la relación de transformador de potencia



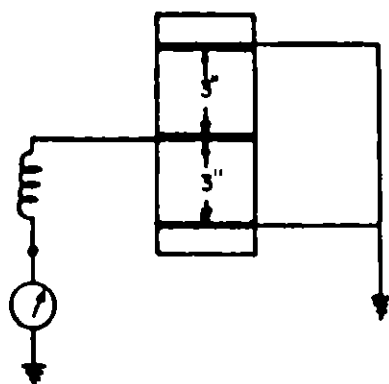
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE SIMPLE

FIGURA 1



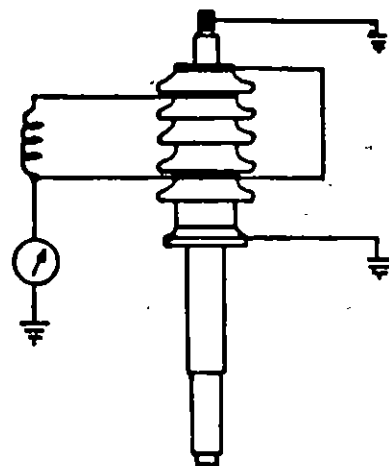
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE MULTIPLE

FIGURA 2



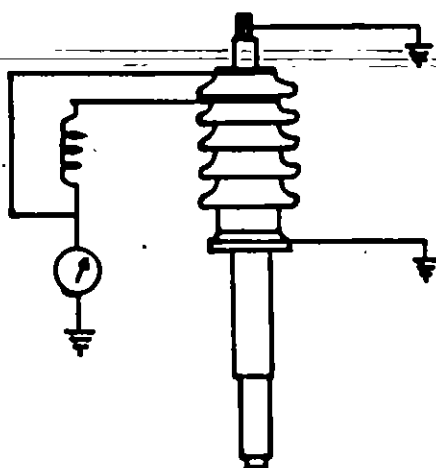
PROCEDIMIENTO DE PRUEBA TRES ELECTRODOS

FIGURA 3



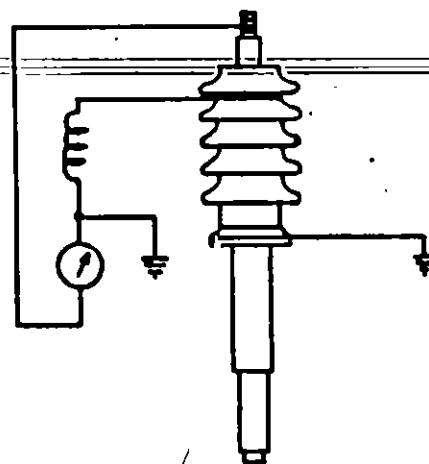
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE SIMPLE DOBLE GUARDA

FIGURA 4(a)



PRUEBA DE COLLAR CALIENTE SIMPLE CON UNA GUARDA

FIGURA 4(b)



METODO DE UST PARA LA PRUEBA DE COLLAR CALIENTE SIMPLE

FIGURA 5

o de distribución , es paralelándolo con un transformador patrón de polaridad conocida o sea el TTR .

4.1- RELACION DE TRANSFORMACION

Se define a la relación de transformación como el resultado de dividir el número de espiras de un devanado primario entre el número de espiras del devanado secundario.

Esta relación también se puede expresar como el cociente del voltaje primario entre el voltaje secundario.

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

donde a = relación de transformación
 V1 = voltaje del devanado primario
 V2 = voltaje del devanado secundario
 N1 = numero de espiras del devanado primario
 N2 = numero de espiras del devanado secundario

4.2- T.T.R. (TRANSFORMER TEST RATIO)

El T.T.R es el equipo que se utiliza para determinar la relación de transformación. El equipo esta dispuesto de tal manera que el transformador que se va a probar y el transformador de referencia de relación variable están excitados por la misma fuente

El aparato esta diseñado para medir una relación de espiras de transformadores cuya relación sea menor o igual a 130 .

Además de permitir conocer la relación de transformación , nos permite conocer la polaridad .-

El TTR consta principalmente de :

- 1) Generador de corriente alterna con excitación
- 2) Cuatro conmutadores conectados en derivación
- 3) Punto decimal
- 4) Detector nulo (D) consistente en un rectificador sincrono y un microamperimetro de c.d con cero central.
- 5) Voltmetro de c.a , indicador de tensión de excitación
- 6) Ampermetro de c.a , indicador de la corriente de salida del generador.
- 7) Prensas negra y roja (X1,X2).

- 8) Caimán negro y rojo (H1 y H2)
- 9) Palanca de excitación.

PRUEBAS PARA COMPROBAR LA OPERACION DEL TTR

Comprobación de relación cero :

- 1) Cerrar los tornillos de las prensas contra los cuerpos.
- 2) Cortocircuitar caimanes (H1 y H2)
- 3) Dejar los cuadrantes en cero (00.00)
- 4) Aplicar 8 volts mediante la palanca de excitación
- 5) El detector (D) debe leer al centro.

Comprobación de relación unitaria:

- 1) Atornillar las prensas con sus propios cuerpos.
- 2) Conectar H1 con X1 negras.
- 3) Conectar H2 con X2 rojas.
- 4) Ajustar cuadrantes para leer (1.00)
- 5) Aplicar 8 volts con la palanca de excitación del generador.
- 6) El detector (D) debe leer al centro.

PRINCIPIO DE OPERACION.-

El TTR esta dispuesto de tal manera que el transformador que se va a probar y el transformador de referencia de relación ajustable estén excitados de la misma fuente .Cuando la relación de transformación de referencia se ajusta de manera que no hay corriente en el circuito secundario se cumplen las siguientes dos condiciones :

- 1) La relación de tensiones de los dos transformadores son iguales.
- 2) No hay corriente de carga en ninguno de los secundarios.

4.3- EVALUACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS

El TTR proporciona la siguiente información :

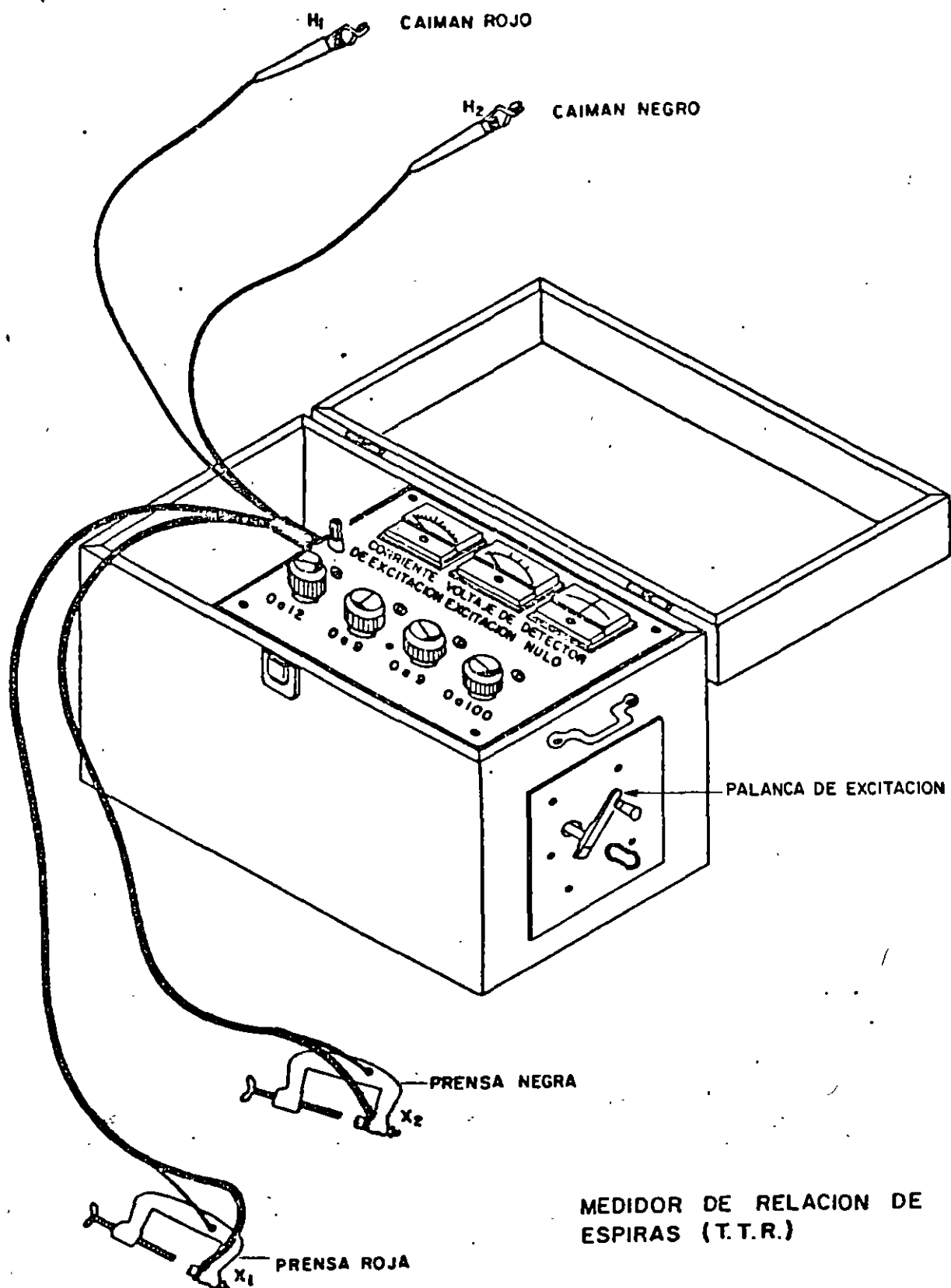
- a) Relación de transformación
- b) Polaridad
- c) Devanados en circuito abierto
- d) Devanados en circuito corto

a) Relación de Transformación: Es leída directamente en los indicadores que varían conforme se va ajustando la relación del transformador de referencia .La relación es directa cuando el devanado de baja tensión es el primario durante la prueba.

Para determinar si el valor obtenido de la relación de transformación es aceptable , se establecen unos limites del valor de relación teórica previamente conocida.

limite superior = relación teórica x 1.005
limite inferior = relación teórica x 0.995

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION



PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

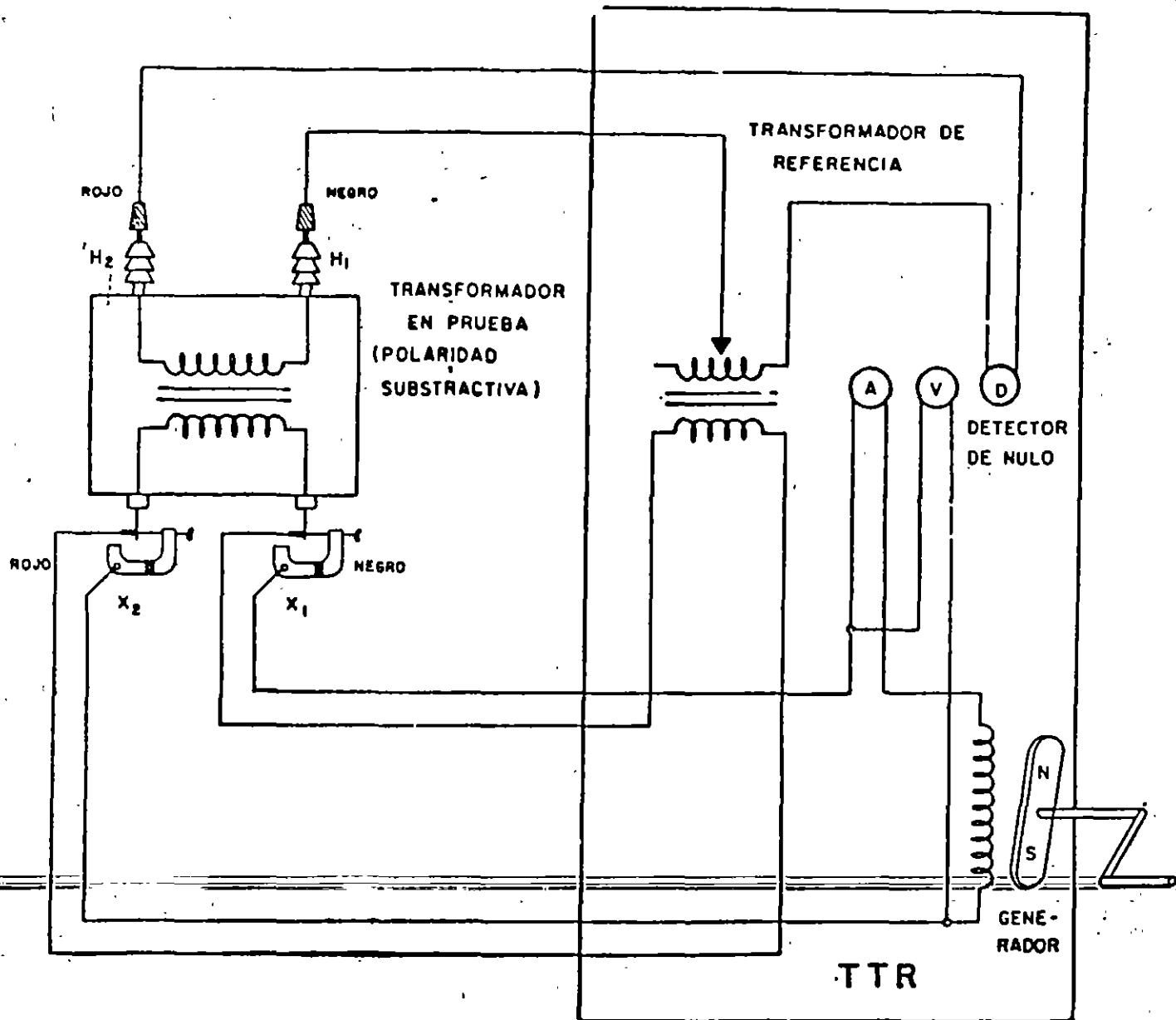


DIAGRAMA ESQUEMATICO SIMPLIFICADO DEL TTR.
(TRANSFORMER RATIO TEST.)

El valor de la relación medida deberá estar dentro de los dos límites antes mencionados.

b) Polaridad.-Se detecta conectando el TTR al transformador bajo prueba normalmente , se ajustan los conmutadores a cero y se gira la manivela un cuarto de vuelta y si el detector nulo se mueve hacia :

izquierda : polaridad sustractiva
derecha : polaridad aditiva

c) Devanados en circuito abierto.

Si durante la prueba para determinar la relación se presentan las siguientes condiciones :

- 1) Excitación normal
- 2) Voltaje normal
- 3) Ausencia de defección del detector.

Esto es indicativo que en algún punto , un devanado se encuentra abierto.

d) Devanados en corto circuito.

Si durante la prueba para determinar la relación de transformación se presentan las siguientes condiciones :

- 1) Alta corriente de excitación.
- 2) Baja tensión del generador.

Esto es indicativo de que alguno de los devanados se encuentran en corto circuito.

El TTR descrito y en general la información presentada ,esta enfocada hacia transformadores de dos devanados , por lo que se deberán tomar en cuenta las consideraciones adecuadas para transformadores trifasicos con taps o links.

5.- PRUEBAS A SISTEMAS DE TIERRAS

Las instalaciones eléctricas deben de contar con medios efectivos para conectar a tierra todas aquellas partes metálicas del equipo electrico a otros elementos que normalmente no conduzcan corriente y estén expuestos a energizarse si ocurre un deterioro en el aislamiento.

También tiene como objeto limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas y fenómenos transitorios en el propio circuito, así como limitar la tensión a tierra del circuito durante su operación normal.

Una conexión solida a tierra facilita también la operación de dispositivos de protección , como la protección de sobrecorriente

en caso de fallas a tierra.

Las canalizaciones y cubiertas metálicas de conductores o equipos son conectados a tierra con el objeto de evitar que estas tengan un potencial mayor y presenten riesgos al personal.

Una tierra es un conductor de metal enterrada en el suelo y es utilizada para mantener un potencial a tierra sobre los conductores conectados a esta y para disipar cualquier corriente.

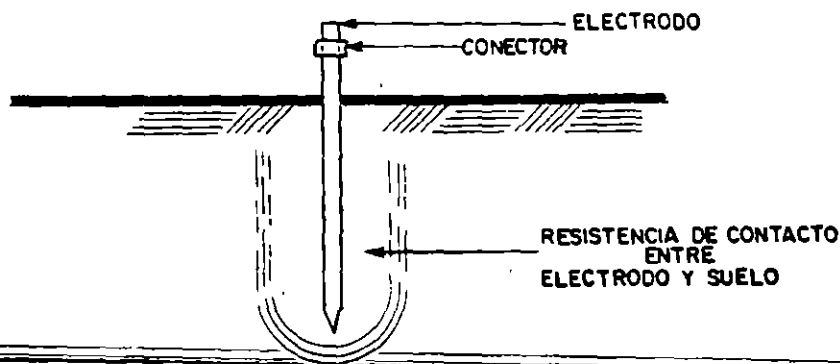
La tierra proporciona :

- Conduce las corrientes de corto circuito
- Previene daños a líneas de potencia
- Mantiene un potencial de referencia para instrumentos de seguridad
- Previene contra la electricidad estática.
- Proporciona seguridad al personal.

5.1- RESISTENCIA DE ELECTRODOS ARTIFICIALES

La resistencia de un electrodo contiene los siguientes componentes

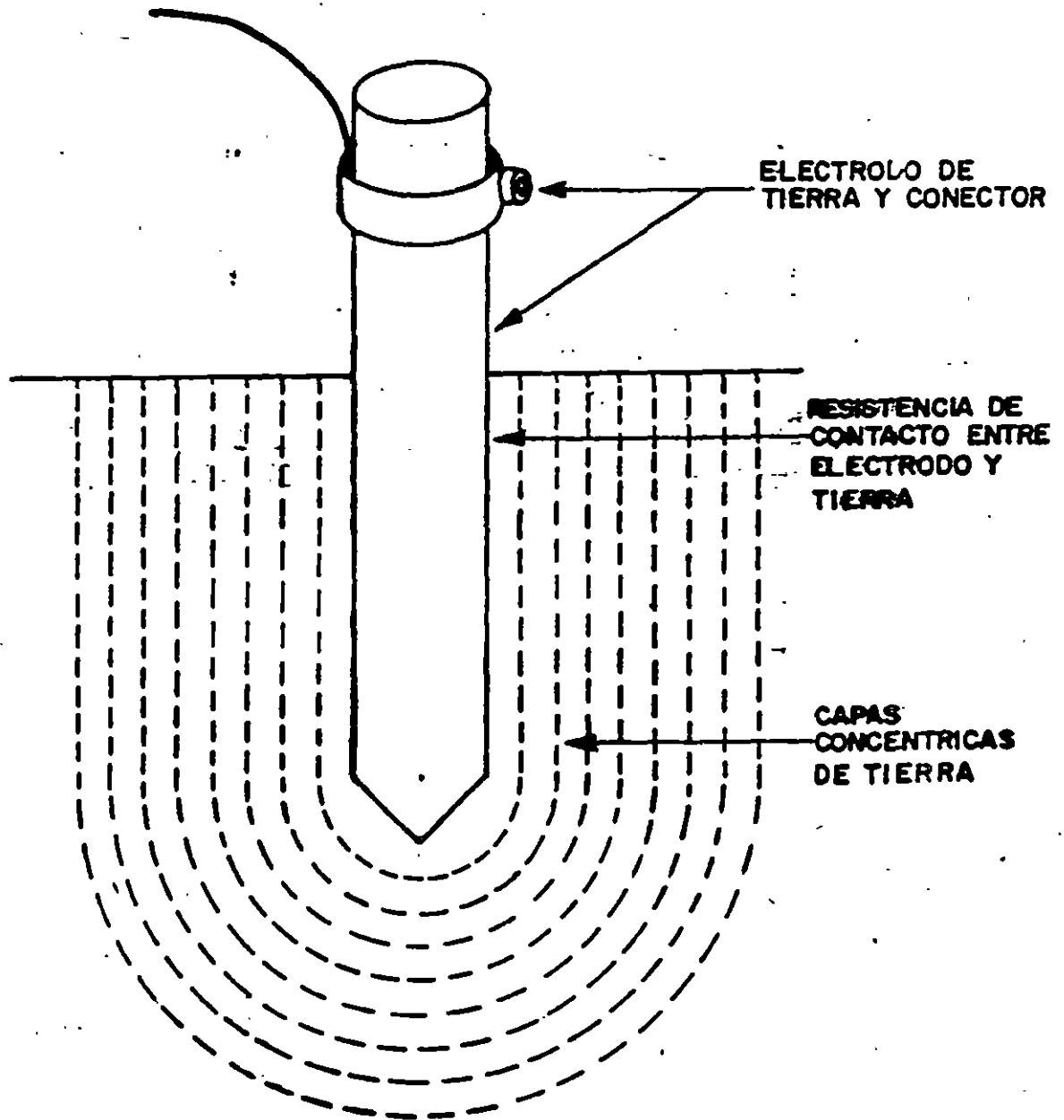
- a) La resistencia del metal y las conexiones a este
- b) La resistencia de contacto del electrodo y el suelo
- c) La resistencia del terreno



a) Los electrodos son usualmente de un material conductor , de un diámetro adecuado y una resistencia despreciable.

b) La resistencia entre electrodo y suelo debe ser despreciable , para esto electrodo debe estar libre de pintura , grasa o cualquier contaminante, el terreno debe estar firmemente compactado.

c) El único componente que permanece constante es la resistencia del terreno. El electrodo puede ser introducido con mayor profundidad para buscar mejores valores de resistencia del terreno.



En teoría la resistencia de tierra se deriva de la siguiente expresión :

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

donde : R = resistencia
 ρ = resistividad
 L = longitud
 A = área

Existen varios tipos de megger de tierras para medir la resistencia del sistema de tierras , por su funcionamiento puede ser manual o electrónico.

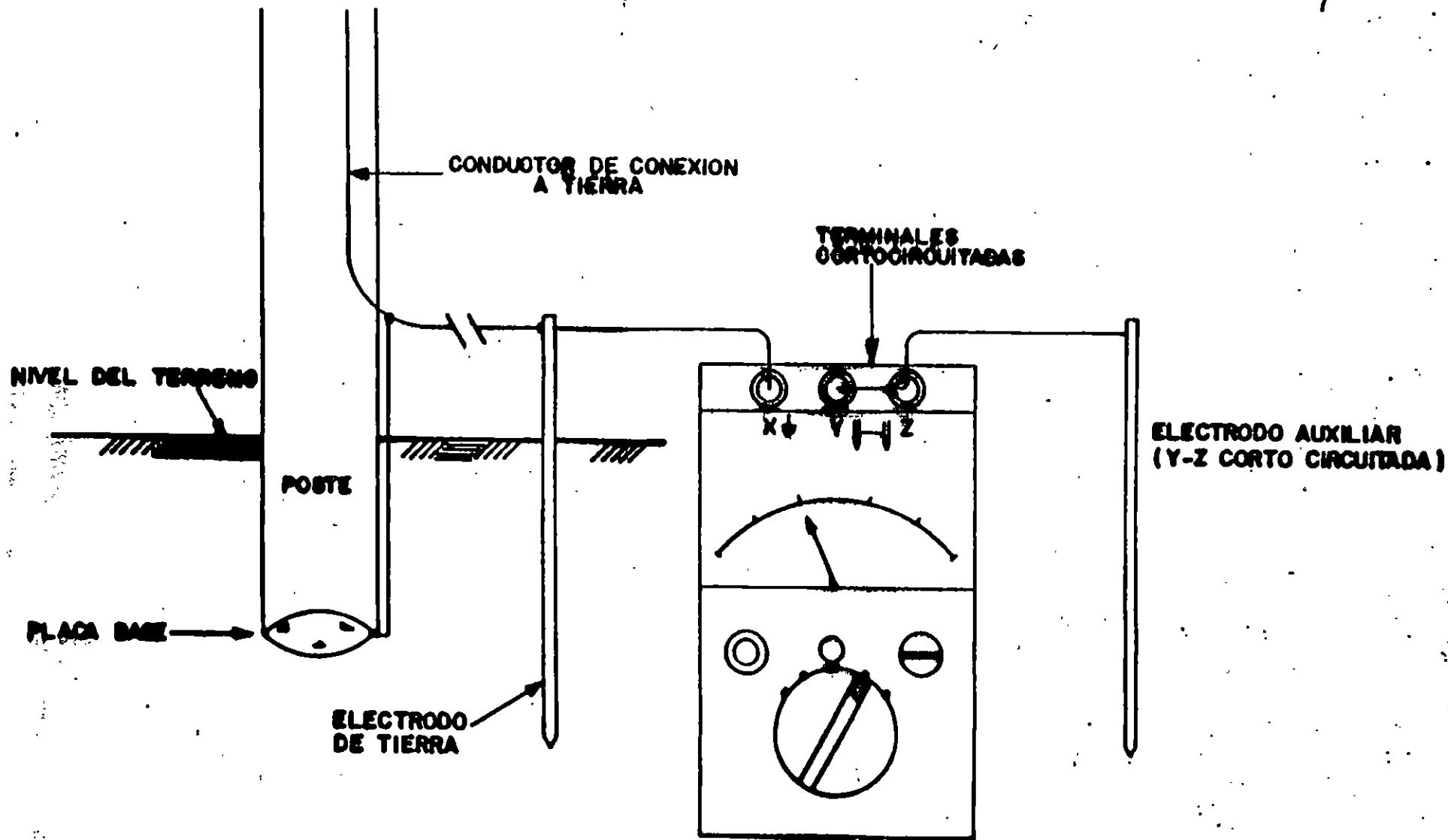
PRINCIPIO GENERAL.-El probador contiene un generador de c.a., impulsado a mano , el cual hace circular una corriente a través de la resistencia bajo prueba conectada entre las terminales C1 y C2 .

La caída de potencial en la resistencia se aplica a las terminales P1 y P2 , provocando una deflección del galvanometro. Esta caída de potencial se contrarresta con otra igual y opuesta que se produce en una resistencia variable contenida en el aparato de manera que en las condiciones de balance no fluye corriente en el circuito de potencial.

MODO DE PRUEBA .-

El aparato tiene cuatro bornes C1 , P1 y C2 , P2 conectandose de la siguiente manera :

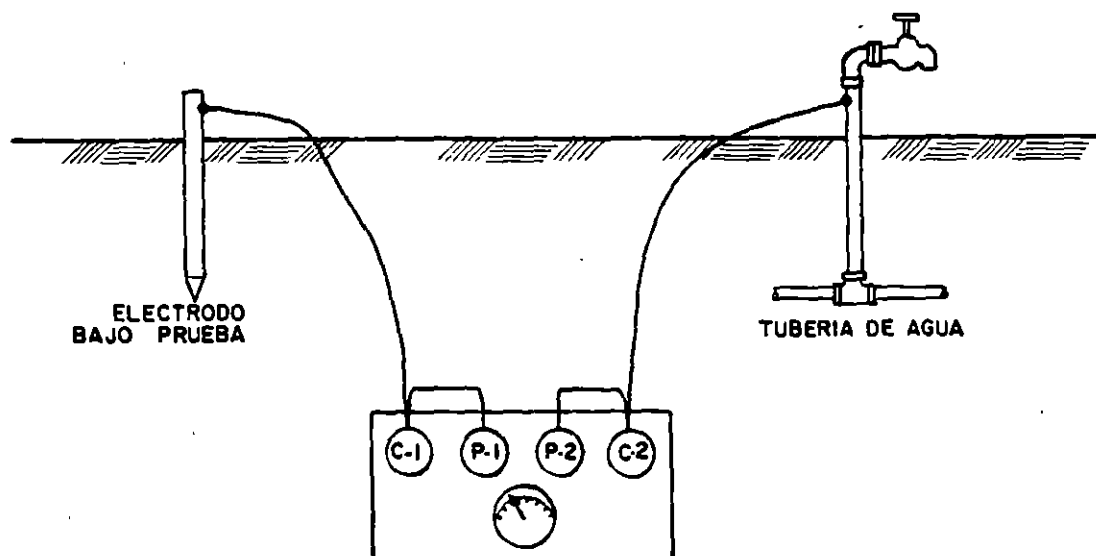
Conectando los electrodos cortos a las terminales P1 y C2 como se muestra en la figura anterior el aparato deberá conectarse a una distancia media entre C1 y P2 .



Para una medición de un sistema de tierras más complejo se deberá aumentar bastante las distancias marcadas anteriormente cuando se dispone de tierras muertas.

En áreas construidas en donde no es posible colocar los electrodos P2 y C2 , se utiliza alguna tierra de baja resistencia , por ejemplo una tubería de agua como se indica en la siguiente figura.

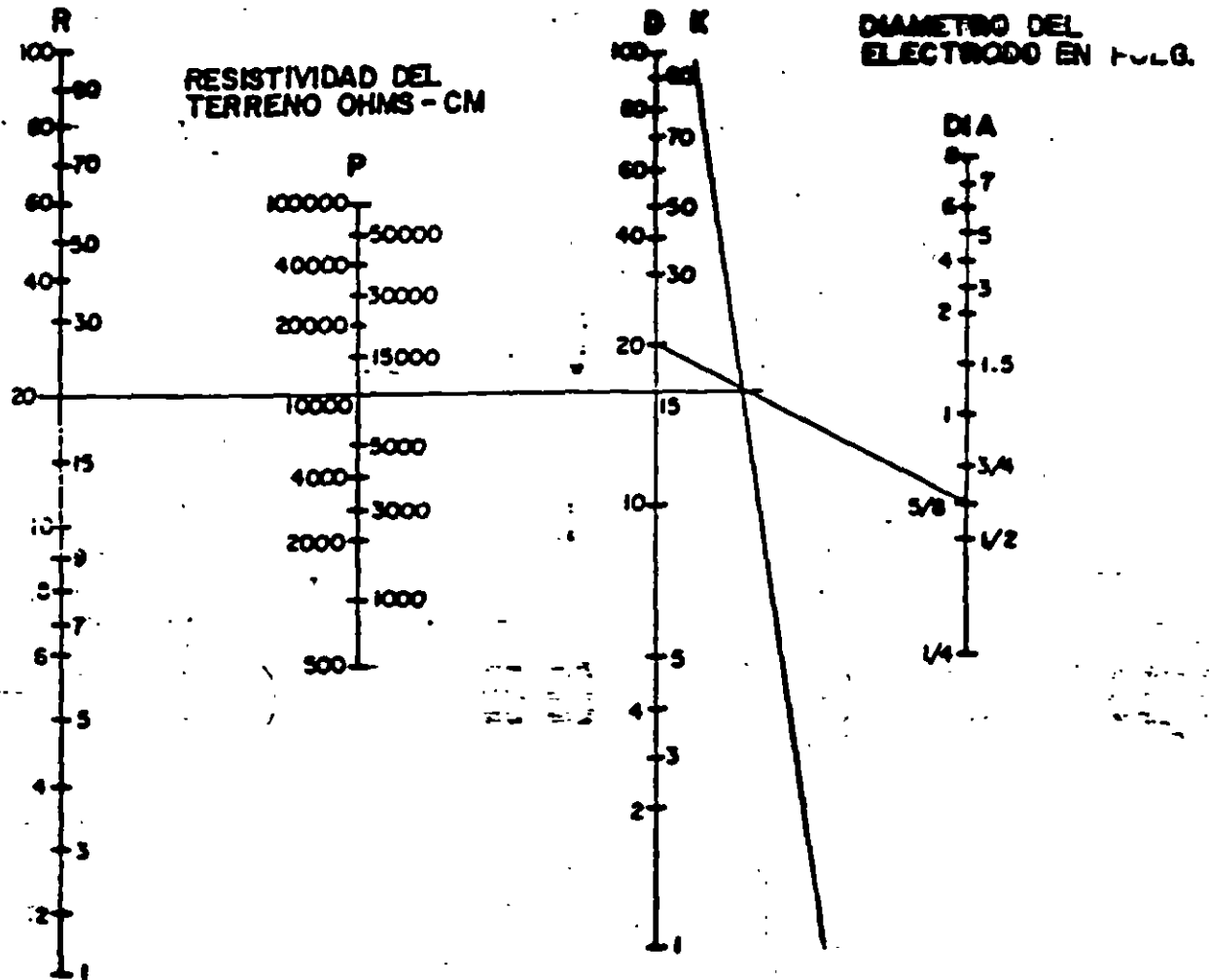
Esta prueba nos da la resistencia de tierra del electrodo de prueba mas la resistencia de la tubería y si esta ultima es despreciable entonces las lecturas se toman como la de resistencia a tierra del electrodo.



Si la tubería está muy cerca del electrodo de prueba , los resultados no son muy buenos por lo cual es más conveniente el método anterior.

RESISTENCIA DEL
ELECTRODO DE TIERRA EN OHMS

PROFUNDIDAD
DEL ELECTRODO EN PIES



NOMOGRAMA DE CONEXION A TIERRA

5.2- ANALISIS DE RESULTADOS

El valor de resistencia de tierra de los electrodos artificiales no deben ser mayor de 25 ohms (NEC).

Los sistemas de tubería metálica continua y subterráneo para conducción de agua , tienen en general una resistencia a tierra menor a 3 ohms.

Se recomienda probar la resistencia a tierra de los electrodos al instalarlos y repetir pruebas periódicamente.

En subestaciones la resistencia total del sistema de tierras deberá conservar el valor mas bajo posible : los valores aceptables van desde 10 ohms hasta 1 ohm.

Cuando se encuentran valores de resistencia altos se puede mejorar de la siguiente manera :

- 1) Proporcionar más profundidad a electrodos
- 2) Aumentar numeros de electrodos
- 3) Tratamiento del suelo

6.- PRUEBAS DE ACEITE

6.1- Introducción.-

Las cualidades del aceite aislante , utilizados en equipo eléctrico ya sean transformadores de distribución , potencia , interruptores y TCS y TPS es proporcionar :

- a) Aislamiento eléctrico adecuado.
- b) Medio refrigerante
- c) Conductor de calor generado por el aparato
- d) Medio de arrastre de partículas que se forman durante el arqueo.

Para obtener resultados correctos en las pruebas de campo o de laboratorio es necesario realizar un buen muestreo , ya que la influencia de temperatura , humedad y otros contaminantes son decisivas en los resultados .

El muestreo deberá efectuarse en un día soleado , siempre que la temperatura del aceite sea igual o mayor ala del ambiente , con esto se evita la condensación de humedad en el aceite.

Cuando el tiempo se encuentra nublado o esté lloviendo , siendo la humedad relativa superior al 75% lo mas conveniente es no muestrear.

En la mayoría de los casos los contaminantes no están uniformemente dispersos a través del aceite , por tal motivo se recomienda tomar al muestra del sitio que se presume más contaminado por ejemplo el punto mas bajo del recipiente que contiene al aceite. Debido a que el agua y algunas otras impurezas tienen mayor densidad que el aceite y por tanto existe mayor probabilidad de encontrarse en el fondo del recipiente que los contiene.

Los recipientes de muestreo deben ser botellas de vidrio claro para hacer una mejor inspección visual de impurezas tales como agua y partículas solidas , los tapones de las botellas de vidrio pueden ser de corcho , vidrio , o tapones de rosca .

Los recipientes de vidrio deben estar completamente limpios, aun así deben enjugarse con el aceite que se va a analizar, antes de tomar la muestra definitiva para realizar las pruebas.

Para realizar el muestreo de aceite en equipo electrico se deben tomar las siguientes precauciones:

- 1) Se limpia perfectamente la válvula de muestreo del equipo cuidando de no dejar residuos.
- 2) Cuando exista tubería en el punto de muestreo , debe de retirarse un volumen igual al de la tubería antes de tomar la muestra.
- 3) El aceite no debe exponerse al aire por un tiempo prolongado para evitar contaminación y humedad.
- 4) El recipiente de muestreo debe enjugarse con el aceite que se le va a realizar la prueba
- 5) Se debe evitar la existencia de burbujas en el aceite muestreado , para lograr esto se coloca el recipiente lo más cerca posible de la válvula de muestreo dejando resbalar el aceite por las paredes del recipiente.

Las pruebas que se realizan al aceite básicamente se dividen en ~~pruebas de laboratorio y pruebas en campo.~~

6.2- PRUEBAS DE LABORATORIO

1) DENSIDAD.- Es una característica inherente al aceite aislante y se define como la relación de los pesos de igual volumen del aceite aislante y agua destilada. La densidad del aceite varia en función de la temperatura , siendo el rango de variación de 0.860 a 0.900.

2) VISCOSIDAD.-La viscosidad es la resistencia que opone el flujo continuo y uniforme , sin turbulencia , inherencia y otros esfuerzos.

Esta característica es necesaria para conducir el calor generado en el equipo eléctrico y de esta forma actuar como refrigerante

La viscosidad tiene como máximo 60 SSU , un aceite con muy baja viscosidad contiene constituyentes volátiles y por ello el punto de inflamación será bajo.

3) APARIENCIA VISUAL.- Esta es una prueba sencilla pero puede ser de gran ayuda , ya que fácilmente se determina el estado de un aceite , este debe ser limpio , transparente y libre de sedimentos.

4) TENSION INTERFACIAL.- Es la medida de fuerza molecular existente entre el aceite aislante y el agua destilada . en un aceite aislante nuevo el valor de tensión interfacial depende del grado de purificación y en un aceite usado indica contaminación

El valor limite mínimo aceptable a 25 C es de 36 dinas-sm.

5) TEMPERATURA DE INFLAMCION E IGNICION.- La temperatura de inflamación del aceite aislante es la temperatura a la cual debe ser calentado para emitir vapores suficientes para formar una mezcla inflamable bajo prueba .

La temperatura de ignición del aceite aislante es la temperatura a la cual debe ser calentado de tal modo que el aceite se encienda y continúe ardiendo, la especificación es de 145 C como mínimo.

Una temperatura de ignición alta con una temperatura de inflamación baja en un aceite usado indicara arqueo dentro del equipo.

6.- TEMPERATURA DE ESCURRIMIENTO.- La temperatura de escurrimiento de un aceite aislante es la temperatura a la cual apenas fluye .

El aceite tiende a solidificarse si la temperatura baja considerablemente.

Esta característica indica la cantidad de parafina existente en un aceite aislante dado que si se presenta en grandes cantidades puede presentar huecos ,el valor limite máximo es de -26 C .

7) COLOR.- El color es un valor numérico basado en la comparación de una serie de colores patrones con luz transmitida bajo condiciones de prueba .

El color de un aceite aislante nuevo generalmente se interpreta como un índice del grado de refinación . Un cambio de color para un

aceite en servicio puede indicar contaminación y envejecimiento,el valor máximo es 1.0 .

8) NUMERO DE NEUTRALIZACION .- El número de neutralización es la cantidad en miligramos de hidrógeno de potasio (KOH) requeridos para reaccionar con un gramo de aceite aislante . El número de neutralización indica la presencia de ácidos minerales y ácidos orgánicos . Un número de neutralización alto en un aceite usado indica envejecimiento o contaminación con barnices u otros materiales que constituyen el equipo eléctrico. El valor máximo aceptable es de 0.03 mg.

9) CONTENIDO DE HUMEDAD.- Esta prueba determina el contenido total de agua que se encuentra tanto mezclada como en suspensión en el aceite aislante .El valor máximo aceptable es de 35 ppm.

10) TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA .-Esta prueba es una medición de la habilidad que tiene el aceite aislante para soportar esfuerzo eléctrico sin que suceda falla.

Este valor esta en función de los agentes contaminantes tales como : agua , suciedad , partículas conductoras .

Un valor alto de la tensión de ruptura no indica necesariamente que el aceite no este contaminado o degradado.

Los equipos eléctricos sumergidos en aceite se encuentran sujetos a esfuerzos eléctricos de diferentes intensidades y varios grados de uniformidad , por esta razón se utilizan varios tipos de electrodos para realizar la tensión de ruptura .

Los electrodos planos se utilizan frecuentemente para evaluar aceites nuevos y en servicio .

Los electrodos semiesfericos debido a su mayor uniformidad de campo electrico son sensibles a pequeñas cantidades de contaminantes , por tal motivo tienen gran aplicación para evaluar los aceites deshidratados y desgasificados .

El valor limite mínimo aceptable :

Electrodos planos .- 30 KV

Electrodos semiesfericos .- 20 KV

11) FACTOR DE POTENCIA .- El factor de potencia del aceite aislante es la relación de la potencia disipada en Watts al producto del voltaje y corriente efectiva en volts amperes.

El factor de potencia indica pérdidas dielectricas en el aceite aislante , por tanto es necesario mantener las perdidas dielectricas al mínimo .

Un valor alto de factor de potencia indica presencia de contaminantes o productos de deterioro tales como : agua , productos de oxidación , partículas conductoras , partículas coloidales , carbón , barniz , etc.

La prueba de factor de potencia se realiza a 25 C y a 100 C , el valor de factor de potencia a 25 C indicara contaminación por humedad y presencia de algunas impurezas que se disuelven en el aceite a esta temperatura su valor máximo aceptable es de 0.05 %

y el valor a 100 C indica otros contaminantes que se van disolviendo en el aceite con el aumento de temperatura su valor máximo aceptable es 0.5% .

6.3.- PRUEBAS EN CAMPO.-

De las pruebas mencionadas, únicamente se realizan en campo las pruebas de tensión de ruptura y factor de potencia al aceite aislante .

Tensión de ruptura.-

- a) La toma de la muestra se realiza tomando las precauciones antes mencionadas.
- b) Ya tomada la muestra se deja reposar de 3 a 5 minutos , para eliminar posibles burbujas.
- c) Se realizan 5 pruebas dando un minuto de reposo entre prueba y se calcula el promedio .

En la evaluación final de un aceite en términos de resultados de pruebas de tensión de ruptura para un equipo de prueba de electrodos planos la especificación para aceite indica un valor de 30 KV .

Para el uso de electrodos semiesfericos la especificación indica 20 KV como mínimo .

FACTOR DE POTENCIA.-

Uno de los requisitos con la que debe cumplir un buen aislante es la ausencia de agua. Debe evitarse también otros compuestos de baja resistividad para evitar la degradación y la falla del aislante .

El factor de potencia es una prueba de mucha importancia para evaluar la condición de un aceite desde el punto de vista eléctrico el tip , es la medición del coseno de la fase angular o el seno de la perdida del ángulo , para un químico es la medición de la perdida de corriente a través del aceite , el cual mide la contaminación o deterioro del mismo .

La especificación de la Doble indica los valores limite de factor de potencia :

Aceite nuevo .- 0.05%

Aceite usada .- 0.5%

NORMA	FORMA Y DIMENSION DE ELECTRODOS	SEPARACION ENTRE ELECTRODOS mm(inch)	ELEVACION DE TENSION KV/seg	REPOSO ENTRE LLENADO Y 1ª PRUEBA	NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS	REPOSO ENTRE PRUEBA Y PRUEBA	TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA	TEMPERATURA MINIMA DE LA MUESTRA
ASTM 877	TIPO DISCO DE 1" DE DIAMETRO	2.54 mm. (0.099)	3 KV $\pm$ 20%	3 MINUTOS	5	1 MINUTO	30 KV MIN.	20°C, 68°F.
ASTM 1816	SEMIESFERICOS 25 mm RADIO	2.04 mm. (0.081) 1.02 mm (0.04)	0.5 KV $\pm$ 20%	3 MINUTOS	6 LA 1ª NO CUENTA	1 MINUTO	35 KV MIN. 20 KV MIN.	20°C, 68°F.
CONNIE B.8.1.	CONTEMPLA	LAS DOS NORMAS ANTERIORES						

Es importante corregir por temperatura los valores obtenidos . La siguiente tabla se muestran las características principales de las normas ASTM-877 Y 1816 en la cual se basa la norma nacional CCONIE 8.8.1.

7.- PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS.-

La medición de resistencia de contactos esta basado en la ley de ohm que nos dice que la corriente que fluye entre dos puntos a los que se aplica una diferencia de potencial es directamente proporcional a dicha diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia .

$$R = \frac{E}{I} \quad (\text{ OHMS })$$

En general , la resistencia óhmica de cualquier circuito eléctrico es la oposición que presenta éste al paso de la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial.

Para efectuar la medición de resistencia óhmica de cualquier circuito se pueden aplicar varios métodos por ejemplo : Con un volmetro y un ampermetro se pueden medir la tensión aplicada y la corriente que circula por el circuito , con estos datos se puede calcular la resistencia de una parte de cualquier circuito eléctrico.

Bajo el principio anterior se tienen diferentes aparatos para medir la resistencia ohmica , en los cuales se tiene una fuente de alimentación de c.d. constante , con lo que la lectura del ampermetro es entonces inversamente proporcional a la resistencia total del circuito y puede establecerse su escala en unidades de resistencia en vez de unidades de intensidad de corriente .

~~Esta medición como prueba de campo en la recepción de equipo nuevo se utiliza para medir la resistencia ohmica entre los contactos principales de los interruptores , así como para verificar los ajustes de los contactos de las cuchillas desconectadoras y de esta manera detectar de conexiones holgadas, desajustes de puntos de contacto, suciedad entre partes conductoras.~~



7.1.- PROBADOR DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

El probador de resistencia de contactos tipo ducter es un aparato de prueba portátil que opera sobre cinco rangos y mide resistencias entre 0-20 ohms, y que cuenta con sus accesorios auxiliares para efectuar las pruebas con base al principio de funcionamiento del puente de Kelvin .

El equipo cuenta con una fuente de energía interna , que es una batería adaptada para proporcionar la plena corriente requerida y esta puede ser recargada empleando un cargador el cual puede adaptarse al ducter .

Cabe hacer notar que existe una gran variedad de marcas de equipos par realizar la prueba de resistencia de contactos .

7.2-PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

- 1.-Los circuitos deben estar desenergizados y desconectados de la fuente de alimentación o de cualquier otro aparato.
- 2.-Colocar el ducter sobre una base bien nivelada , impidiendo que el instrumento quede cerca de inducciones electrostáticas.
- 3.-Revisar que las terminales duplex estén correctamente conectadas las terminales negras a las terminales de corriente (C1 y C2) , y las terminales rojas a las terminales de potencial (P1 y P2) .
- 4.-Con las terminales de prueba conectadas , conectar el ducter al equipo a probar y verificar la lectura de cero y al carga de la batería.
- 5.-A menos que el valor aproximado de la resistencia bajo prueba se conozca , comenzar con la perilla selectora de rango en la posición de 20 ohms , si la lectura es menor de 20 ohms , ajustar la perilla para seleccionar un rango menor .
- 6.-Colocar la perilla de función en posición de prueba a la resistencia que se va a medir , y tomar las lecturas y anotarlas.

Existen varios equipos de prueba para realizar la medición de resistencia de contactos :

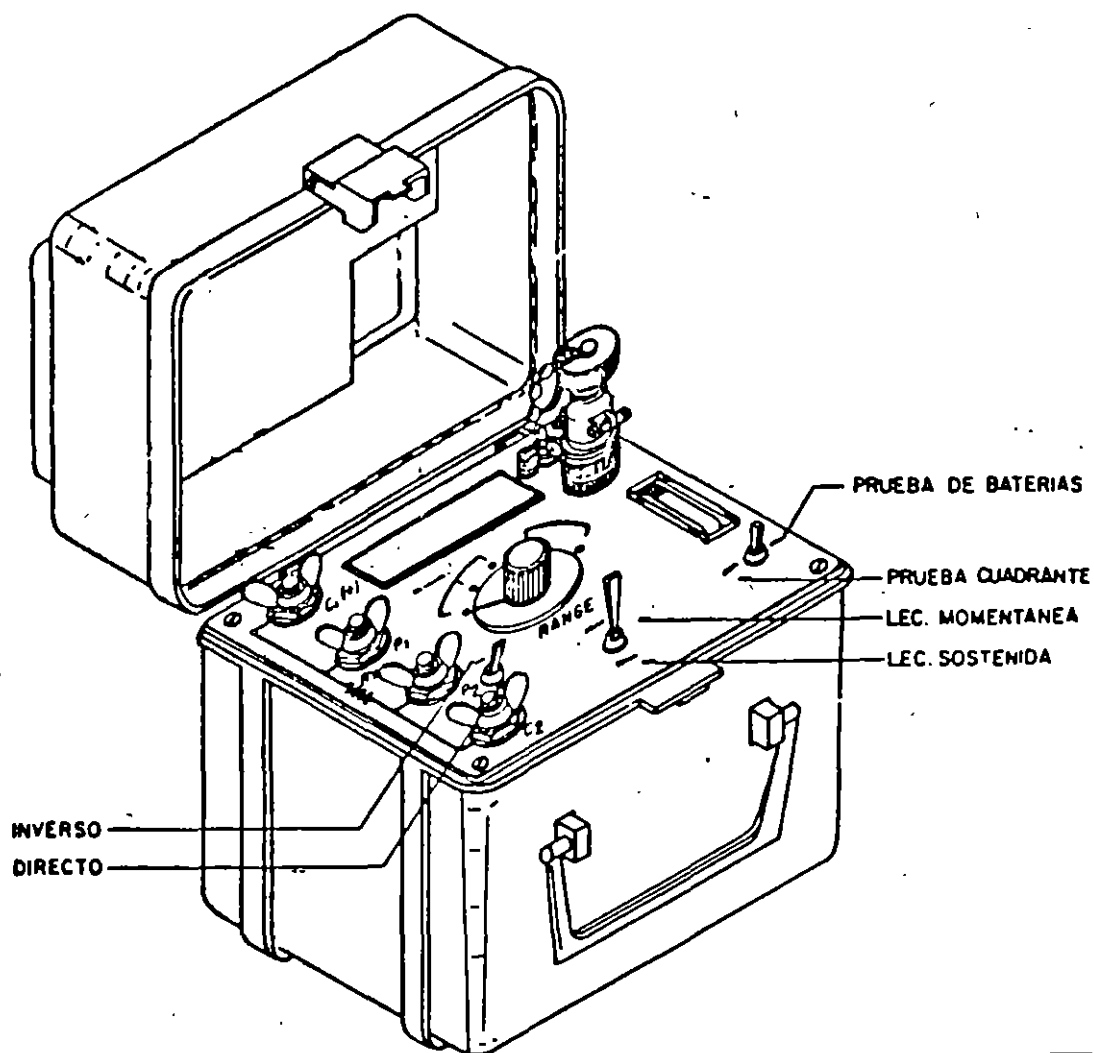
- a) Equipo Delle Alsthom
- b) Planta de soldar

Dicho equipo se muestran en las siguientes figuras .

7.3.-ANALISIS DE RESULTADOS

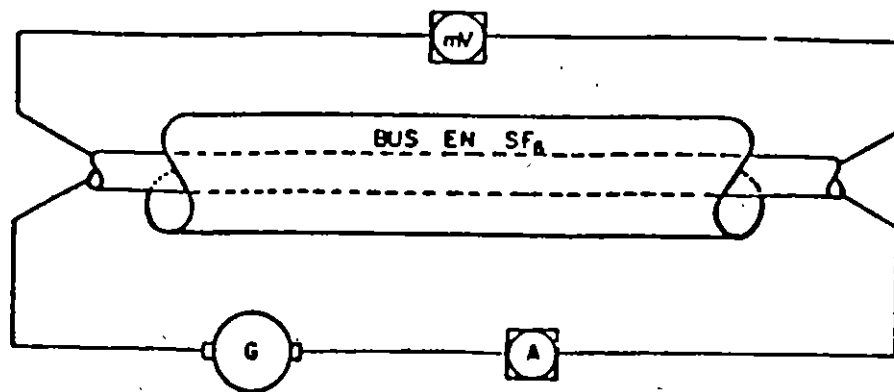
En general al realizar las pruebas de resistencia de contactos tanto en interruptores como en cuchillas desconectoras no existen normas de las cuales nos indiquen los valores máximos

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS



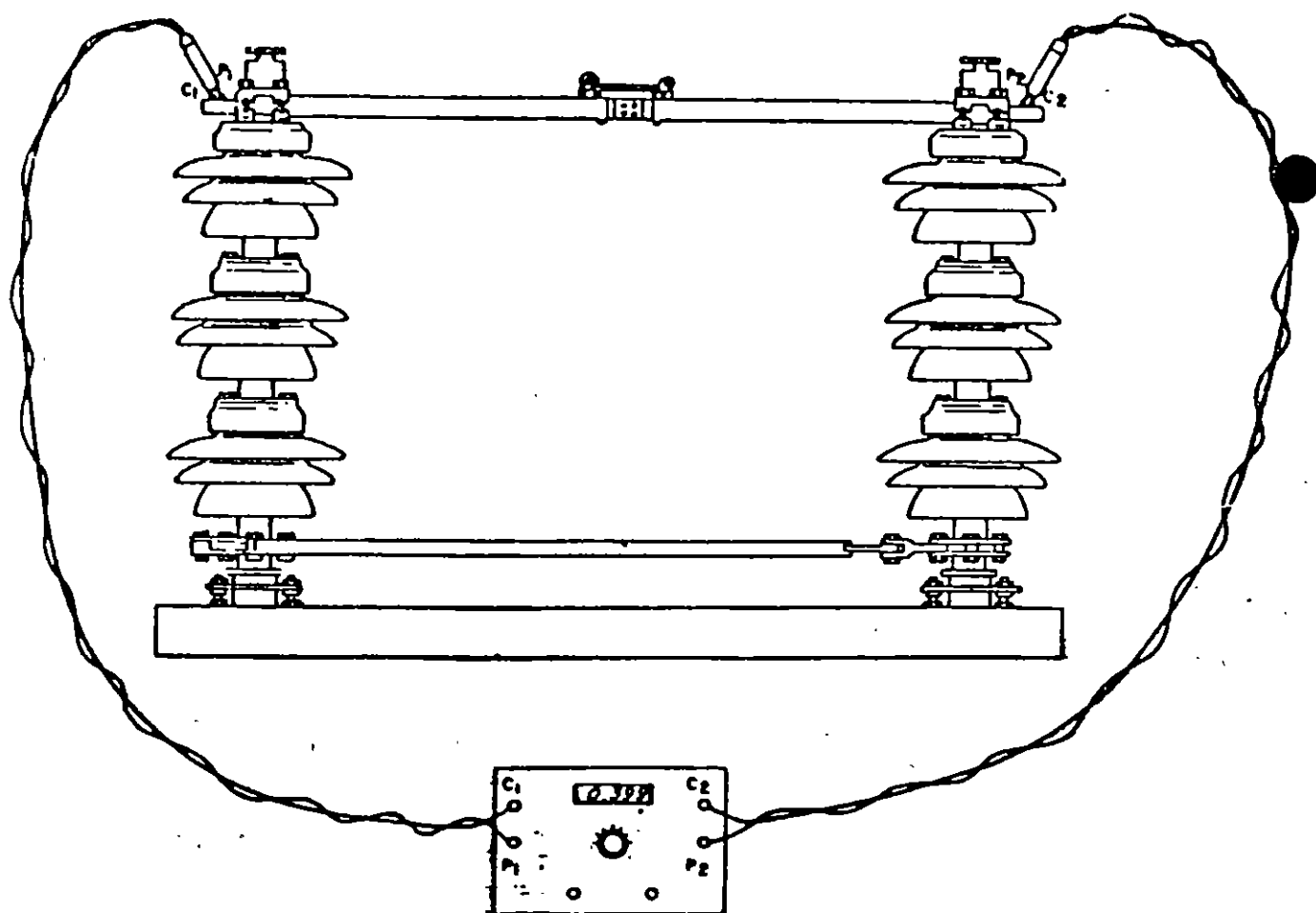
OHMETRO DIGITAL DE BAJAS RESISTENCIAS O DUCTER MARCA BIDOLE

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS



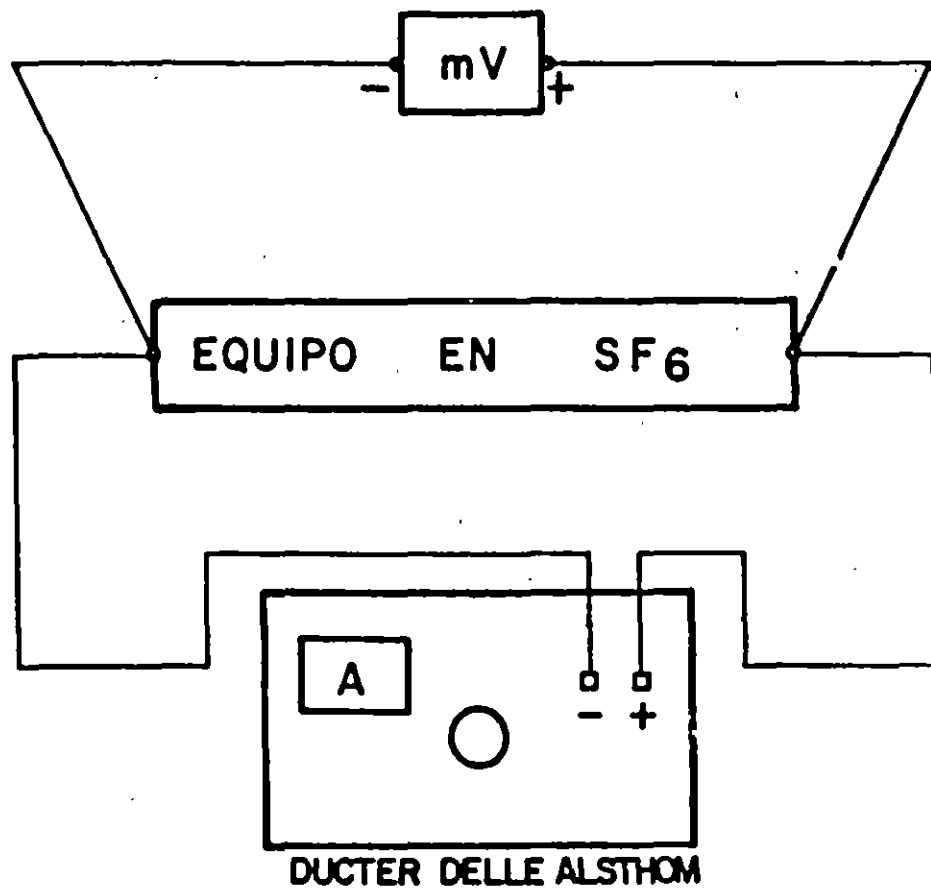
$$R = \frac{V}{I}$$

a).- PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS A UN BUS EN SF₆ CON PLANTA DE SOLDAR.



b).- PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS A UNA CUCHILLA DES-
CONECTADORA.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS CON DUCTER DELLE ALSTHOM



PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- 1- SE CONECTA EL CIRCUITO ELECTRICO COMO SE INDICA EN LA FIG.
- 2- SE PROCEDE A AJUSTAR EL DUCTER A 100 AMPS.
- 3- SE TOMA LA LECTURA DE LOS mV. (CON MILVOLTMETRO INDEPENDIENTE)
- 4- SE CALCULA $R = \frac{V}{I}$

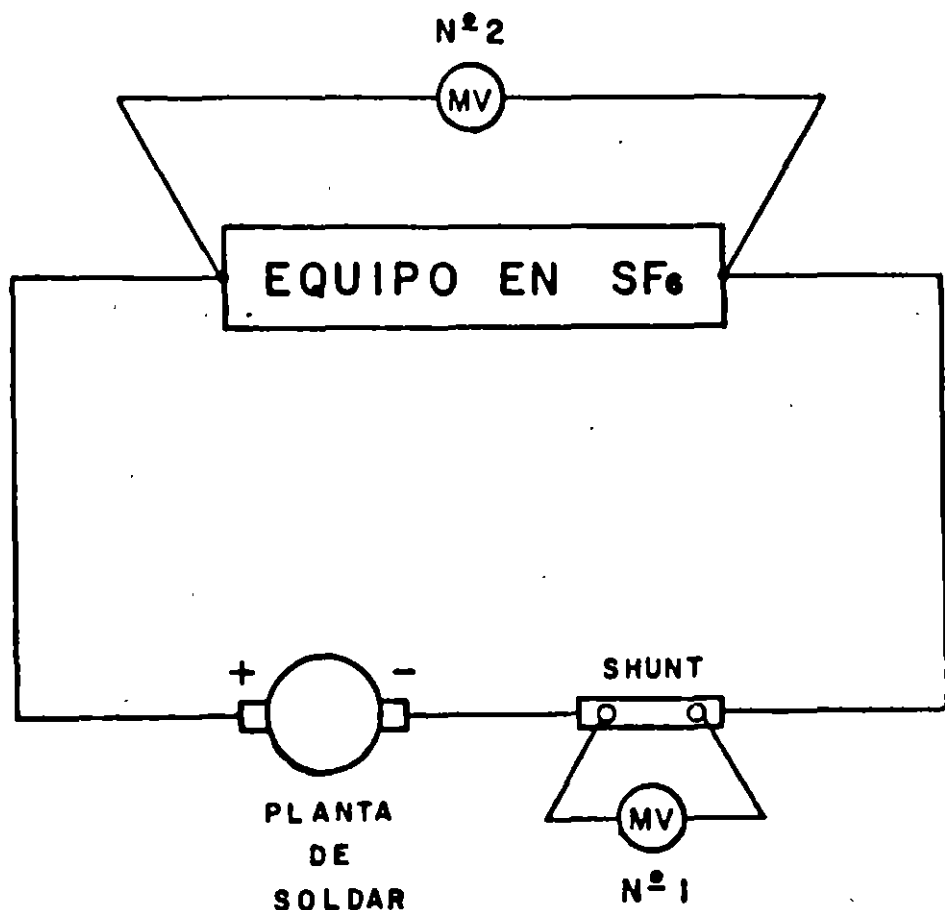
EJEMPLO:

VALORES: A = 100 , mV. = 14.1 (LEIDOS)

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{14.1 \text{ mV}}{100,000 \text{ mA}} = 0.000141 \Omega \quad R = 141 \mu\Omega ..$$

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS CON PLANTA DE SOLDAR.



PASOS A SEGUIR

- 1.- SE CONECTA LA PLANTA DE SOLDAR, SHUNT, 2 VOLMETRO - AL EQUIPO A PROBAR, COMO SE INDICA EN LA FIGURA.
- 2.- SE ALIMENTA LA C.D. CON LA PLANTA DE SOLDAR AL EQUIPO A PROBAR.
- 3.- DEPENDIENDO DE LAS CARACTERISTICAS DE SHUNT, SE MIDEN LOS MILIVOLTS EN EL VOLMETRO Nº 1.
- 4.- SE MIDE LA CAIDA DE VOLTAJE EN EL VOLMETRO Nº 2 - Y SE CALCULA LA RESISTENCIA.

permisibles , debido a esto el fabricante proporcionara sus valores limite , dependiendo de su diseño .

Por esta razón siempre se deberá contar con el protocolo de pruebas de cada fabricante para determinar si los resultados obtenidos son los correctos.

Pero en caso de que esto no suceda de acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas en campo se puede aceptar un valor máximo permisible de 30 micro-ohms por punto de contacto en cuchillas únicamente.

8.-PRUEBAS DE TIEMPOS DE APERTURA Y CIERRE.

La prueba para determinar los tiempos de operación de los interruptores se realiza en todos los tipos de acuerdo a las diferentes tensiones de trabajo , estos resultados son importantes puesto que nos permite conocer el tiempo que tardan en realizarse las operaciones de cierre y apertura para que de esta manera se verifique si dichos interruptores cumplen con las especificaciones solicitadas y las cuales generalmente se indican en los reportes de prueba y montaje proporcionados por el fabricante .

Tiempos de apertura.- Es el tiempo medido desde el instante en que se energiza la bobina de disparo , hasta el instante que los contactos de arqueo se han separado en todos los polos .

Tiempos de cierre.- Es el intervalo de tiempo medido desde el instante en que se energiza la bobina de cierre , hasta el instante que tocan los contactos principales en todos los polos .

Estas pruebas son de primordial importancia , fundamentalmente en lo que se refiere a los tiempos de apertura ya que es necesario de que esta operación se realice en el menor tiempo posible , para ~~que en condiciones de falla el circuito en cuestión sea aislado del sistema lo más rápido .~~

En general en todos los interruptores de potencia al aumentar la tensión nominal de trabajo se incrementa la capacidad interruptiva y en consecuencia se procura que se tengan tiempos de apertura y cierre mucho menores con relación de los tiempos que utilizan los interruptores de menor capacidad.

Así mismo en coordinación con las pruebas de los tiempos de cierre y apertura es importante analizar si dichas funciones se realizan sin asincronismo entre fases. Una condición de asincronismo fuera de los limites establecidos por cada fabricante

originara daños en los interruptores tanto en la apertura en condiciones de falla , como para el cierre .

Para realizar las pruebas de tiempos de operación , se puede utilizar el siguiente equipo :

- 1) FAVAG
- 2) MILLIGRAPH
- 3) ANALIZADOR CINCINNATI
- 4) TR-3000

8.1) FAVAG.- El equipo de registrador de operaciones llamado favag es de operación electromecánica y esta diseñado para registrar los tiempos de operación de las tres fases y la operación de la bobina, así como registrar el asincronismo .

El Favag requiere de 125 VCD para realizar sus funciones , en tanto que para poder efectuar la medición del tiempo empleado de dichas operaciones , este aparato consta de un motor sincrónico de c.a a 220 V , que genera en base a la frecuencia de operación de 60 ciclos -segundo y una velocidad de desplazamiento del papel constante a razón de 300 mm por segundo , en donde además se tiene una plumilla que genera pulsos que quedan registrados en el papel en donde se tiene la siguiente representación :

Por lo tanto , las mediciones de los tiempos de operación se efectúan en base a :

$$1 \text{ ciclo} = 16.66 \text{ milisegundos} = 5 \text{ mm}$$

8.2) MILLIGRAPH.- El registrador milligraph esta diseñado para registrar tiempos de operación simultáneamente con una precisión de 0.5 milisegundos .

El registrador cuenta con 10 canales y además cuenta con un canal para registrar el momento que se energiza la bobina de operación. Todos los registradores cuentan con un circuito interno que opera a control remoto el cierre y la apertura .

El registrador esta equipado con un rollo de papel metalizado , después de hacer los preparativos de conexión del registrador hacia el interruptor bajo prueba , es necesario oprimir un push-boton y entonces con la otra mano jalar el papel mientras se realiza la operación del interruptor .

La siguiente figura muestra una gráfica que se obtiene del registrador Milligraph .

8.3) ANALIZADOR CINCINNATI.- Este aparato analizador consiste esencialmente en dos elementos : Un tambor vertical que lleva un papel para graficar y es accionado por un motor sincrónico a través de un engranaje adecuado , y el dispositivo registrador propiamente dicho, accionado mediante un mecanismo reductor por el bastón de operación del interruptor .

El movimiento de rotación del tambor da el tiempo en ciclos , como la abscisa de la gráfica en tanto que la ordenada esta representada por el movimiento del mecanismo de los contactos del interruptor .

Al probar un interruptor el aparato debe ser montado de tal manera que el movimiento del bastón de operación se transmita al deslizador principal de la cabeza reductora.

El analizador registrara las condiciones de operación del mecanismo de contactos del interruptor , los fabricantes de interruptores . generalmente hacen recomendaciones tales como : tiempo comprendido entre accionamientos de disparo o cierre , tiempo requerido para extinguir el arco , tiempo que toma el interruptor para llegar a su posición de apertura o cierre completo, velocidad de contactos en la zona de arco.

8.4) ANALIZADOR TR-3000.-El analizador TR-3000 es un sistema modular que incluye dos instrumentos :

- 1) El TR-3100 MAESTRO
- 2) EL TR-3300 ESCLAVO

Las funciones que realiza el analizador son :

- a) Tiempos de contactos principales y contactos auxiliares
- b) Velocidad y Movimiento
- c) Valor de la resistencia de inserción
- d) Valores de los gradientes de los capacitores
- e) Rebotes

Operación manual.-

Opera para cada prueba y los resultados son automáticamente almacenados en su computadora interna.

Imprime los resultados en cualquier hoja.

Operación automática.-

Cuando se usa automáticamente , el equipo almacena toda la información , esto incluye los comandos de todas las pruebas y los datos de identificación del interruptor.

Los resultados son automáticamente almacenados en su memoria y compara contra los resultados medidos en otras pruebas realizadas.

9.- PRUEBAS DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Después del oxígeno y nitrógeno el vapor de agua es mas abundante en la atmósfera. La superficie de nuestro planeta esta cubierta en un 70% de agua. Es por esto que es importante desarrollar métodos de medición de concentración de agua.

VAPOR.-Es definido como la fase gaseosa de una sustancia la cual esta en forma liquida a una temperatura ambiente.

Entonces por definición un vapor puede condensarse rápidamente y por esto tiende a adherirse sobre la superficie de cualquier material.

El parámetro presión esta asociado a cualquier gas o vapor y podemos definir a la presión como la fuerza que actúa sobre un recipiente por unidad de área .

DEW POINT (PUNTO DE ROCIO).- Es la temperatura a la cual las moléculas de agua entran en la fase gaseosa.

Para poder determinar el punto de rocío se puede utilizar los siguientes métodos :

- A) HIGROMETRO DE HIELO SECO
- B) HIGROMETRO ALNOR
- C) HIGROMETRO PANAMETRIC

9.1) HIGROMETRO DE HIELO SECO.- Este método determina el contenido de vapor de agua de gases por la medición del punto de rocío.

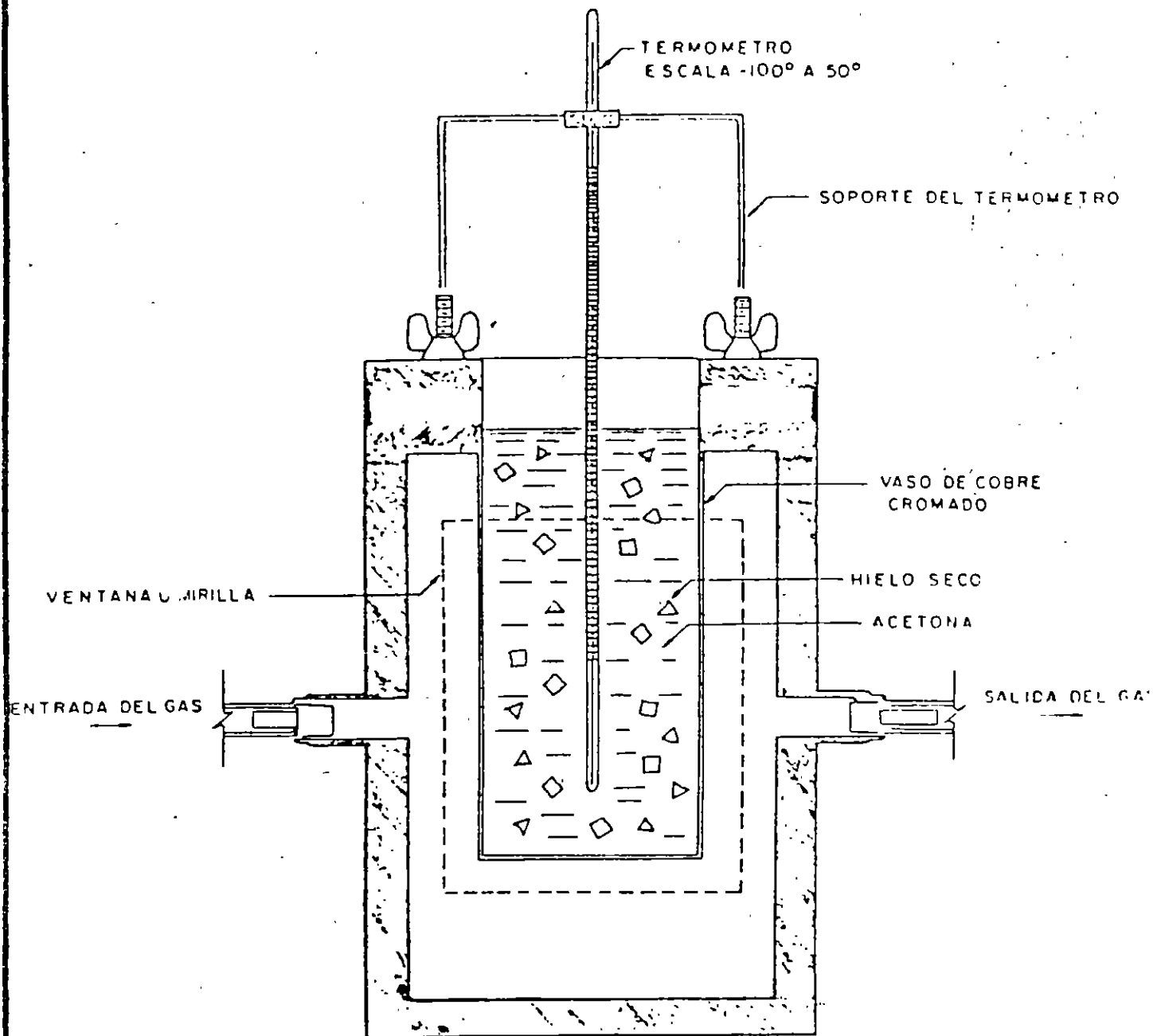
PROCEDIMIENTO

- 1) Inyectar un flujo de gas a través del higrometro hacia la atmósfera.
- 2) Dentro del vaso se coloca un termómetro con escala de 50 a -100 °C
- 3) Se vierte acetona pura hasta la mitad del vaso , cuidando que el bulbo del termómetro este completamente sumergido en la acetona.
- 4) Se van agregando trozos de hielo seco hasta el momento de la condensación (opaca el vaso).
- 5) Se anota la temperatura del punto de rocío .

PROBLEMAS PRINCIPALES.-

- A) ERROR DEL OPERADOR
- B) OBSERVACION DEL MOMENTO EXACTO DE LA LECTURA DE LA TEMPERATURA EN EL MOMENTO DE LA CONDENSACION.
- C) PRESICION DEL TERMOMETRO .
- D) LA PRUEBA SE REALIZA A PRESION ATMOSFERICA

La siguiente figura muestra el higrometro de hielo seco.



HIGROMETRO DE HIELO SECO

9.2) HIGROMETRO ALNOR.

El higrometro alnor es un equipo que se utiliza para la medición de contenido de humedad .

PROCEDIMIENTO DE AJUSTE .-

- 1) Coloque la válvula de operación fuera.
- 2) Abra la válvula de purga para asegurarse de que no exista presión en el aparato.
- 3) Con la válvula del medidor y la válvula de ajuste ponga el nivel de aceite a nivel 1.
- 4) Cierre la válvula de purga y bombear hasta que el medidor alcance 0.5
- 5) Oprima la válvula de operación y el aceite deberá regresar al nivel 1 de la escala .
- 6) En caso de no hacerlo repita el ajuste .

Después de realizar el ajuste del equipo , se procede a bombear el gas al aparato de prueba hasta cualquier valor del medidor de presión.

Se opera la válvula de operación , observando la cámara de niebla si se observa niebla se procede a bombear gas al equipo de prueba a un valor menor del medidor de presión en el momento de que desaparezca y aparezca la niebla se anota el valor del medidor de presión y se procede a calcular el punto de rocío con la siguiente expresión:

$$T_{pr} = (T_1 + 460) RP - 460$$

donde :

Tpr.- Temperatura del punto de rocío en °F

T1.- Temperatura de prueba °F

RP.- Valor de presión

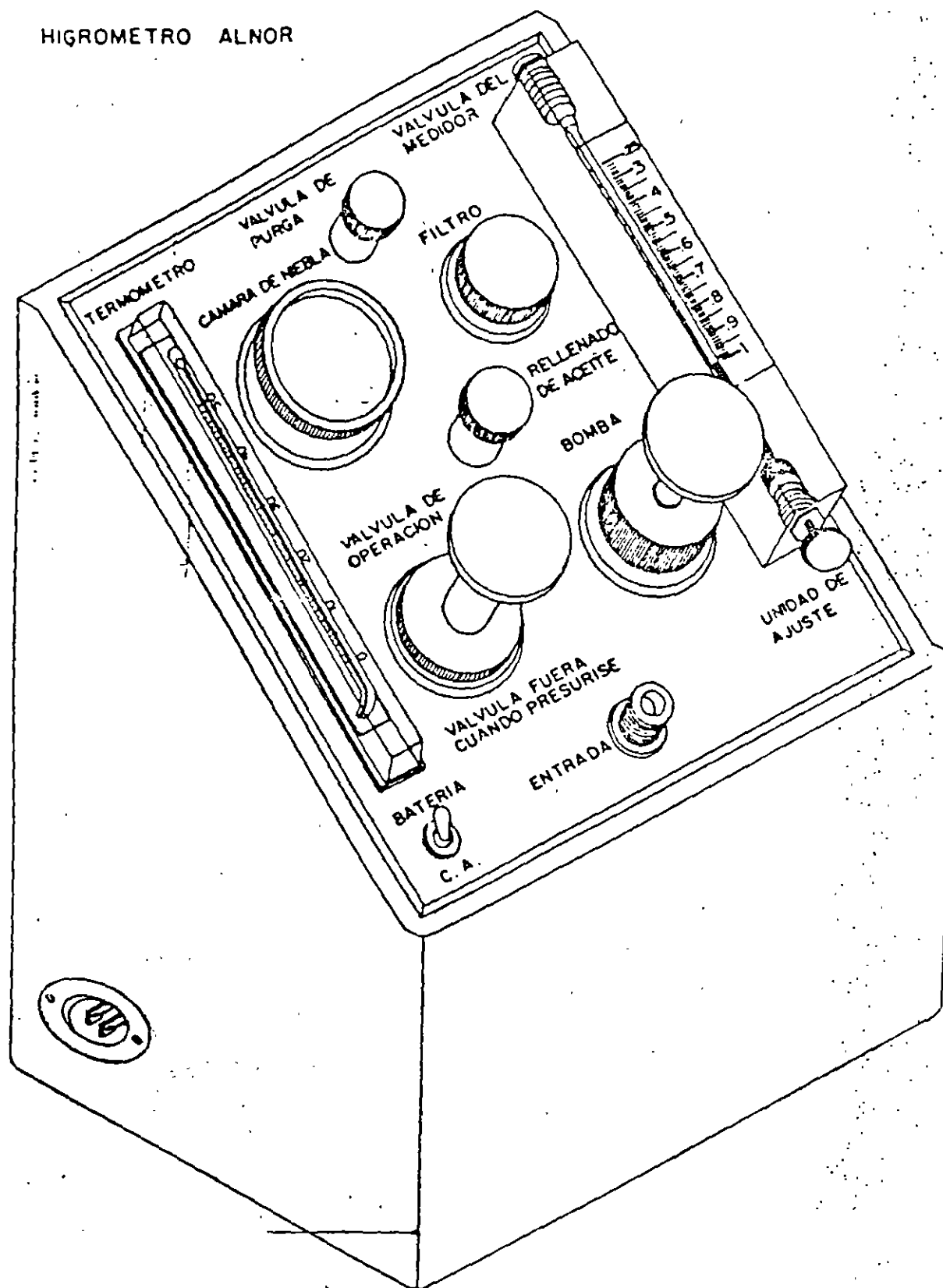
~~Q.- Constante del gas~~

La siguiente figura muestra el higrometro alnor.

PRINCIPALES PROBLEMAS.-

- 1) La medición depende del observador.
- 2) La temperatura que sensa el equipo es la del ambiente.
- 3) La presión de prueba es regulada.

HIGROMETRO ALNOR



9.3) HIGROMETRO PANAMETRIC

El equipo se utiliza para medir presión de vapor de agua en un rango de +20 a -110 °C , de punto de rocío , este rango representa una concentración de humedad de 20,000 ppmv a 0.001 ppmv.

El equipo utiliza un bulbo sensor , el cual esta construido con una banda de aluminio anodizada y una cubierta de oro en su estructura.

El numero de moléculas de agua absorbidas por la estructura determina la conductividad de las paredes porosas. Cada valor de estas paredes provee un valor distinto de impedancia la cual es convertida a una medición directa de presión de vapor de agua .

El bulbo sensor puede ser utilizado con presión positiva y negativa (vacío).

Las pruebas de contenido de humedad pueden expresarse en :

ppm peso
ppm volumen
punto de rocío

Para calcular el contenido de humedad es necesario conocer :

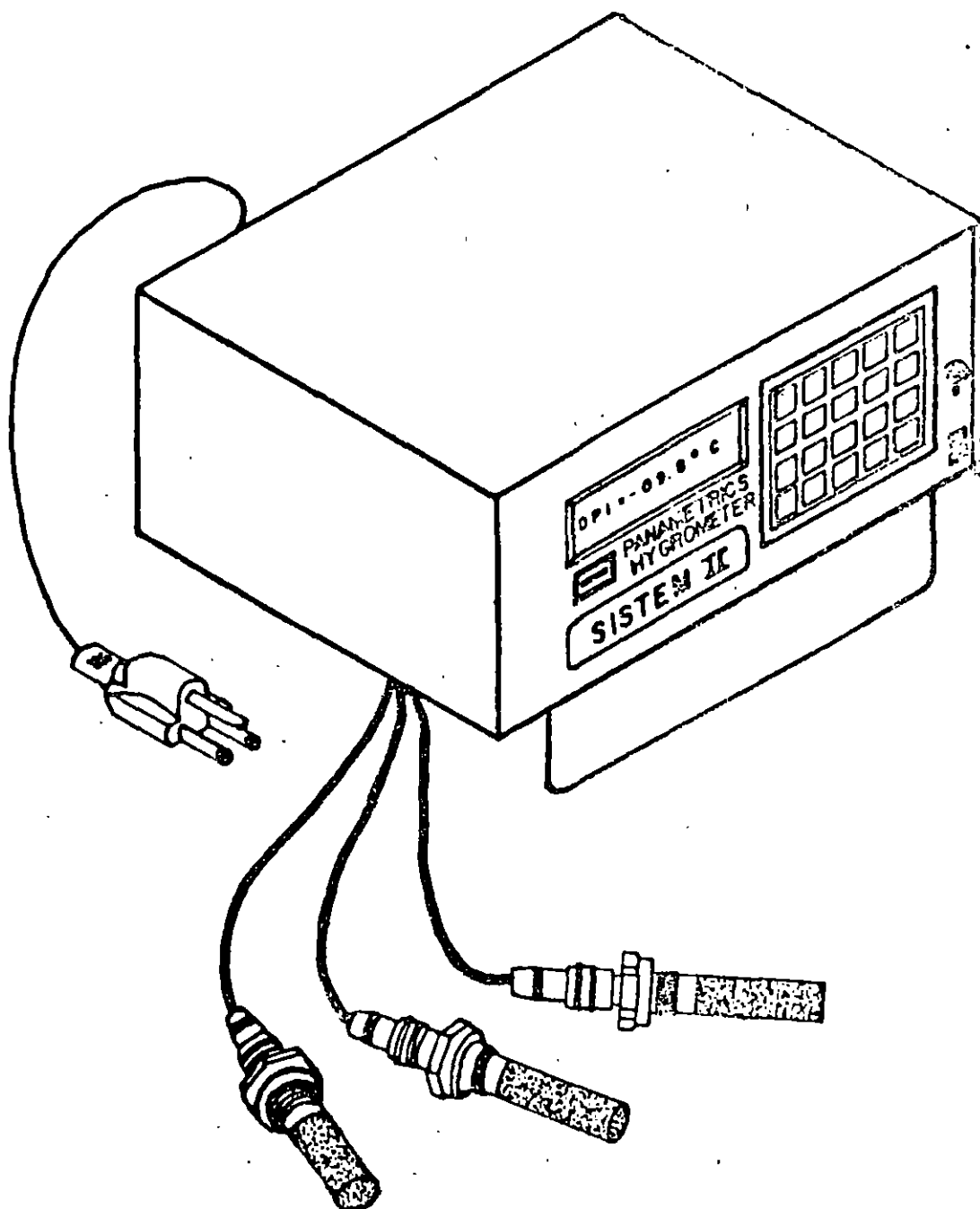
El punto de rocío
Presión del sistema

Para emplear la siguiente expresión :

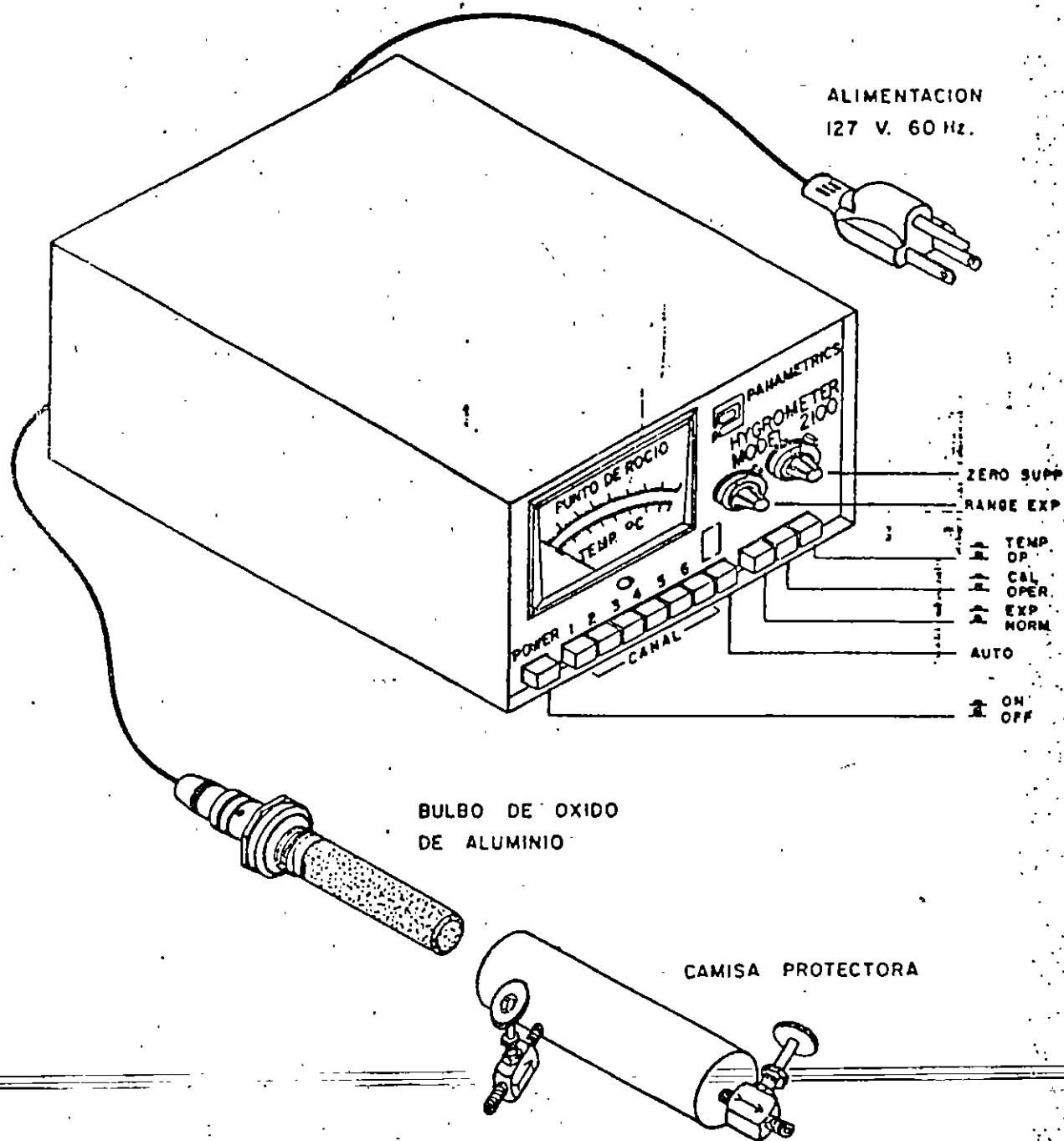
$$P.P.M.V. = \frac{\text{PRESION DE SATURACION DE VAPOR EN mm Hg} \times 10^6}{\text{PRES. ABSOL. EN CD. MEX. mm Hg} + \text{PRES. MEDIDA mm Hg}}$$

PRESION ABSOLUTA = presión al nivel del mar + presión medida
PRESION ABSOLUTA DE CD. MEX.= 583 mm Hg

2
1 BAR = 14.5 LB/PULG
2
1 KG/CM = 14.22 LB/PULG
2
1 KG/CM = 735.5 mm Hg
2
1 LB/PULG = 51.7 mm Hg



HIGROMETRO PANAMETRICS SISTEM II



HIGROMETRO PANAMETRICS MODELO 2100

2

14.7 LB/PULG = 760 mm Hg

La siguiente figura muestra el equipo panametrics

10.- APLICACIONES Y PRUEBAS.**10.1.- Pruebas a equipo eléctrico.-**

A continuación se dará un listado de las principales pruebas que se efectúan a cada uno de los elementos o equipos eléctricos :

BATERIAS Y CARGADORES .-

- a) Pruebas al alumbrado de emergencia
- b) Pruebas de resistencia de aislamiento al cargador
- c) Pruebas de control al circuito del cargador
- d) Pruebas al electrólito de las baterías
- e) Pruebas al detector de tierras
- f) Prueba de operación a la protección del banco de baterías

INTERRUPTORES DE BAJA TENSION

- a) Prueba de resistencia de aislamiento
- b) Prueba de resistencia de contactos
- c) Prueba de High Pot. (únicamente a int's de media tensión)

CABLES DE BAJA TENSION.

- a) Prueba de resistencia de aislamiento
- b) Prueba de continuidad

CABLES DE ALTA TENSION.

- a) Prueba de resistencia de aislamiento
- b) Prueba de continuidad
- c) Prueba de High Pot.
- d) Prueba de factor de potencia

TABLEROS .

- a) Prueba de resistencia de aislamiento
- b) Prueba de High Pot

RELEVADORES.

- a) Pruebas de operación manual
- b) Pruebas de operación y ajuste eléctricas.
- c) Verificación de calibración y ajuste.

En la siguiente tabla se muestran las pruebas eléctricas que se realizan a los elementos de una subestación normalizada.

11...-RECOMENDACIONES TECNICAS PARA PRUEBAS.**11.1.- Pruebas a subestaciones compactas.-**

Una subestación compacta tipo cliente , esta formada por 3 gabinetes principales donde se alojan los siguientes equipos :

- 1) Equipo de medición de la Cía suministradora.
- 2) Cuchillas desconectadoras operadas en grupo.
- 3) Interruptor o seccionador de operación con carga

Las tres secciones están interconectadas por medio de un bus de cobre montado sobre aislador soporte.(ver siguiente figura)

Las pruebas que se realizan en campo son para comprobar que durante el transporte de fabrica al lugar de la instalación no sufrieron daños o para verificar el estado en que se encuentra después de estar trabajando en condiciones normales , como mantenimiento predictivo.

a) BUS.-

Prueba de resistencia de aislamiento.- La prueba se realiza desconectando ambos extremos de la subestación y aplicando el voltaje de prueba contra tierra fase por fase , con esta prueba se detectara las condiciones en que se encuentran los aisladores soporte del bus , los valores de resistencia de aislamiento deberán ser mayor a 2500 megaohms , en caso de obtener valores menores es necesario probar aislador por aislador .

b) CUCHILLAS DESCONECTADORAS OPERADAS EN GRUPO.-

Además de estar involucradas en la prueba de resistencia de aislamiento , se deberá probar su resistencia de contactos y como ya se menciona anteriormente no debe ser mayor de 30 micro-ohms por punto de contacto.

c) APARTARRAYOS.-

~~Las pruebas que se realizan a los apartarrayos son las de resistencia de aislamiento y factor de potencia.~~

Los valores esperados en estas pruebas son :

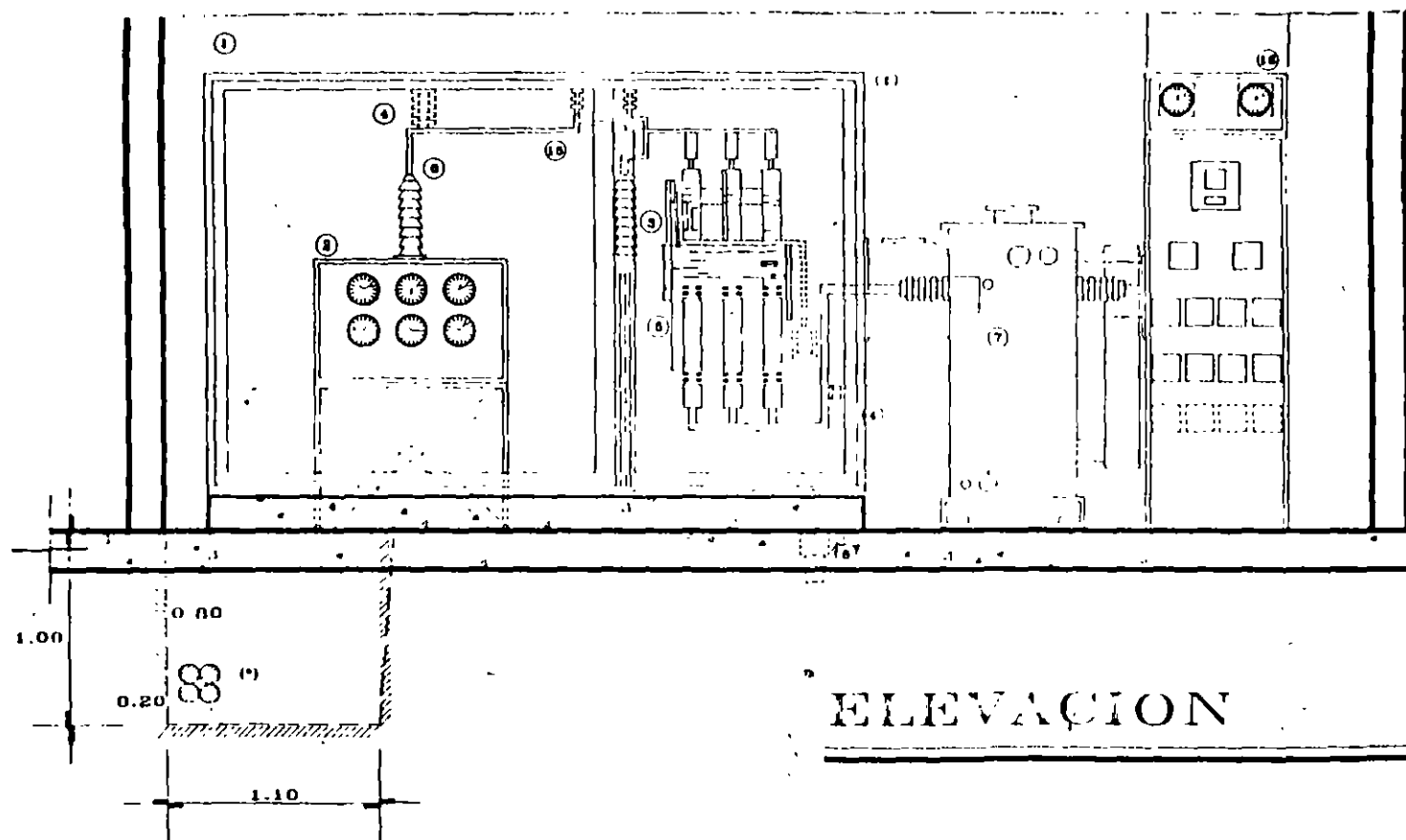
Resistencia de aislamiento = mayor de 10,000 mega-ohms

Factor de potencia = menor al 10%

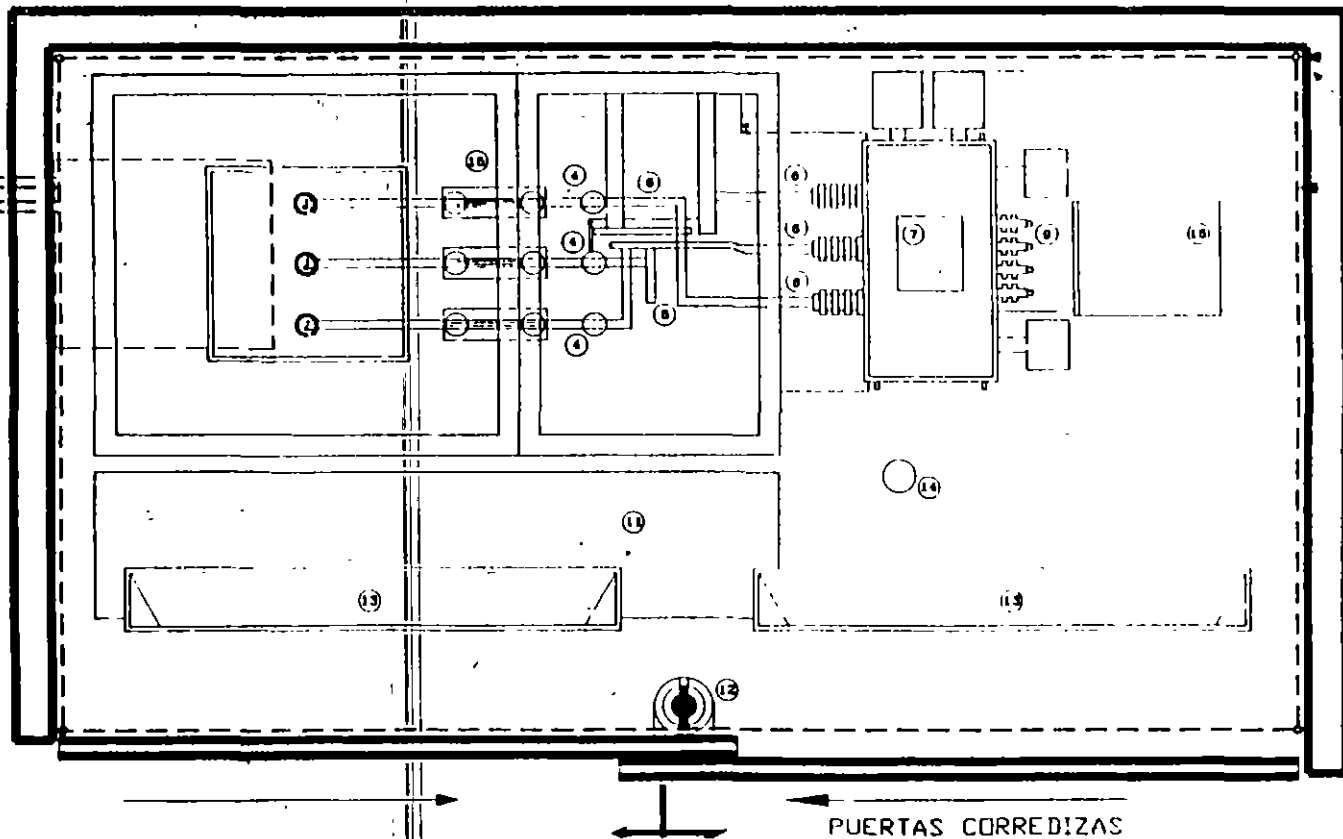
d) DESCONECTADOR CON CARGA.-

Las pruebas que se realizan a este equipo son las de resistencia de aislamiento y resistencia de contacto , los valores considerados como aceptables , como resistencia de aislamiento debe ser mayor a 10,000 Mega-ohms y de resistencia de contacto menor a 30 micro-ohms por punto de contacto.

SUBESTACION ELECTRICA



(1)
 4 DUCTOS DE ASBESTO CEMENTO
 10cms. DE DIAMETRO A 80cms.
 ARAJO DEL NIVEL DE BANQUETA
 Y HASTA 1m FUERA DEL MURO
 EXTERIOR DEL LOCAL DE LA SUB-
 ESTACION PARA CABLES DE A.T.
 DE C.L.P.



VARILLA COPPERWELL
 3.05 x 1.58cms Ø
 VER DETALLE No 1

CALIBRE 4/0
 ENTERRADO A
 50cms DE N.P.T.



PLANTA

11.2- PRUEBA A TRANSFORMADORES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Dentro de una instalación eléctrica , el equipo de mayor importancia es el transformador por lo cual se hacen muy importantes sus pruebas .-

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.-

Para un transformador de dos devanados se realizan las siguientes pruebas :

H - X
H - X + T
X - H + T

En caso de haber duda en los valores tenidos se recomienda realizar las siguientes pruebas :

H - T
X - T

La prueba de resistencia de aislamiento debe corregirse a una temperatura de 20 grados centígrados.

FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA

TEMPERATURA °C	MAQUINAS ROTATORIAS		TRANSFORMADORES CON ACEITE
	CLASE- A	CLASE - B	
0	0.21	0.40	0.3
5	0.31	0.50	0.4
10	0.45	0.63	0.54
15	0.71	0.81	0.73
20	1.00	1.00	1.00
25	1.48	1.25	1.3
30	2.20	1.58	1.8
35	3.24	2.00	2.5
40	4.8	2.50	3.3
45	7.1	3.15	4.5
50	10.45	3.99	6.0
60	22.80	6.30	11.0
65	34.00	7.90	14.8
70	50.00	10.00	20.0
75	74.00	12.60	26.8

RELACION DE EQUIPO Y MATERIAL COMPLEMENTO

No.	DESCRIPCION	MARCA	No.DGE
1	GABINETE METALICO FORMADO POR 3 SECCIONES	ELMEX	
2	EQUIPO DE MEDICION A. T.		
3	APARTARRAYOS AUTOVALVULARES CON SISTEMA DE NEUTRO A TIERRA PARA 23 KV CAT M-21	IUSA	5175
4	AISLADORES DE RESINA EPOXI RB 24 PARA 23 KV	BALTEAU	4313
5	INTERRUPTOR DE A.T. MOD. H-251-20N/630. 3 FASES 630 AMPS. 23KW EQUIPADO CON FUSIBLES DE ALTA CAP. INTERRUPTIVA 1000 MVA SIMETRICOS, CON MECANISMO DE OPERACION A BASE DE PALANCA EN FORMA DE ESTRIBO Y DISPOSITIVO DE DISPARO MECANICO SIMULTANEO, OPERADO POR FUSION DE LOS FUSIBLES DR 20/16S 16 AMPS.	ELMEX	6141
6	LINEA A.T. FORMADA POR SOLERA DE 15 X 6 mm		
7	TRANSFORMADOR EN ACEITE DE 500 KVA 20-23 KV 220-127 V 3 FASES 60 c.p.s. X- 5%	VOLTRAN	2938
8	SISTEMA DE TIERRAS FORMADO POR CABLES DE COBRE DESNUDO 1/0 Y SOLERA DE 38.1 X 6.35 mm A LO LARGO DE GABINETE Y DOS VARILLAS DE COBRE TIPO COPPERWELLD DE 3MTS DE LONG. DE 16 mm. DE DIAMETRO CONECTADA A TODAS LAS PARTES METALICAS NO CONDUCTORAS DE CORRIENTE	CONDUMEX	2824
9	LINEA DE B.T. FORMADA POR 7 CABLES DE COBRE DE 4/0 POR FASE UN CONDUCTOR NEUTRO DEL MISMO CALIBRE	CONDUMEX	2824
10	INTERRUPTOR TERMO MAGNETICO DE 1,600 A CON CAPACIDAD INTERRUPTIVA = 50,000 AMP.	SQUARE-D	3031
11	TARIMA AISLANTE CON PISO DE HULE ESTRAIDO AISLADA PARA 23 KV		
12	EXTINGUIDOR DE INCENDIOS. POLVO QUIMICO SECO CO ₂		
13	LAMPARA FLUORESCENTE 2 X 74 WATTS	QUINZANO	1428
14	DRENAJE		
15	CUCHILLAS SECCIONADORAS DE SERVICIO 30 200 AMPS. OPERADAS EN GRUPO	ELMEX	55 58
16	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCION		

NOTAS:

- LAS PUERTAS CUENTAN CON UN DISPOSITIVO QUE IMPIDE QUE ESTAS SE ABRAHAN CUANDO SE ENCUENTRAN EN SERVICIO.
- SE OMITEN LAS PUERTAS DE LOS GABINETES PARA MAYOR CLARIDAD DEL DIBUJO.
- ACOTACION EN CENTIMETROS.

La siguiente tabla nos muestra los valores promedio , tomados en experiencias en pruebas a diferentes clases de aislamiento.

RESISTENCIA MINIMA DE AISLAMIENTO A TRANSFORMADORES EN ACEITE A
20 °C .

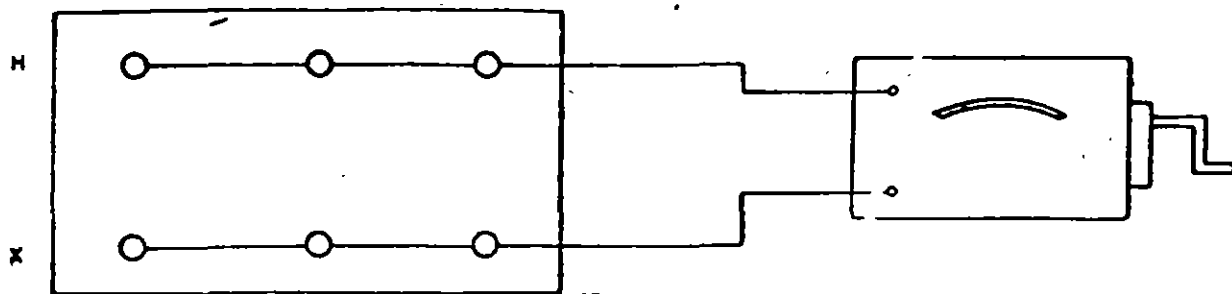
CLASE DE AISLAMIENTO EN K.V.	MEGA-OHMS
1.2	32
2.5	68
5.0	135
8.7	230
15.0	410
25.0	670
34.5	930
46.0	1240
69.0	1860
92.0	2480
115.0	3100
138.0	3720
161.0	4350
196.0	5300
230.0	6200
287.0	7750
345.0	9300
400.0	10800

La resistencia de aislamiento de un transformador sin aceite , pero con aislamientos solidos impregnados , es 20 veces mayor que los valores indicados en la tabla.

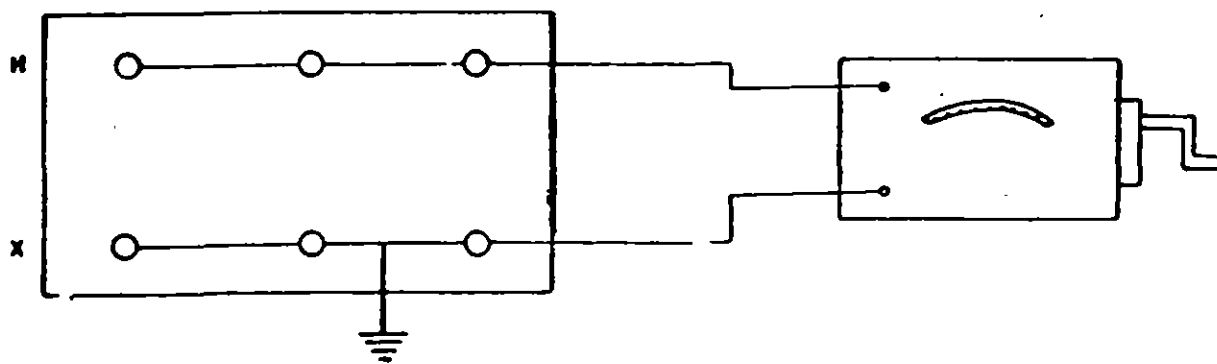
Otra consideración que se debe tomarse en cuenta es el valor de la resistencia de aislamiento de un transformador decrece al aumentar la temperatura, se recomienda hacer las mediciones en un rango de 0 a 40 grados centígrados .

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

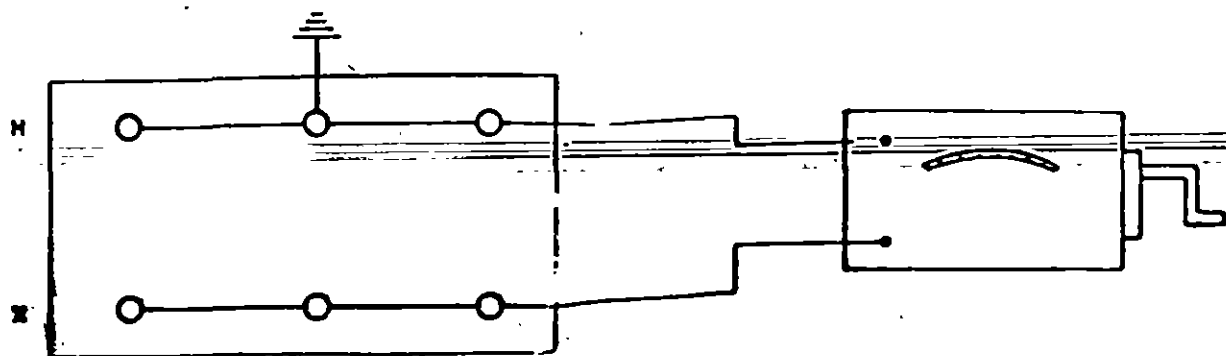
TRANSFORMADOR



DEVANADO DE ALTO VOLTAJE vs. DEVANADO DE BAJO VOLTAJE

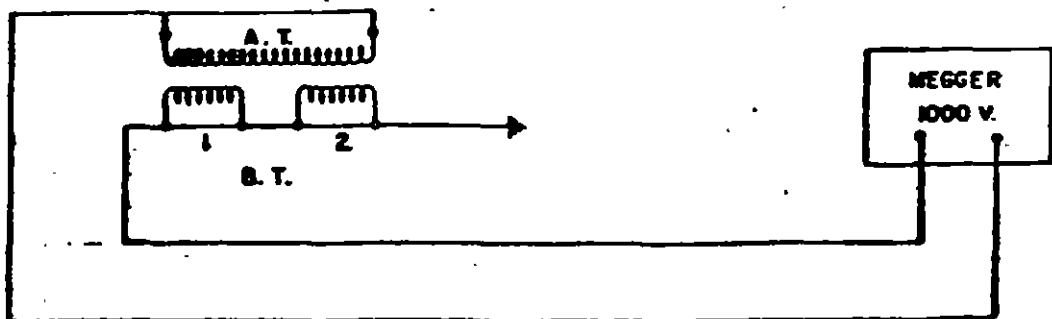
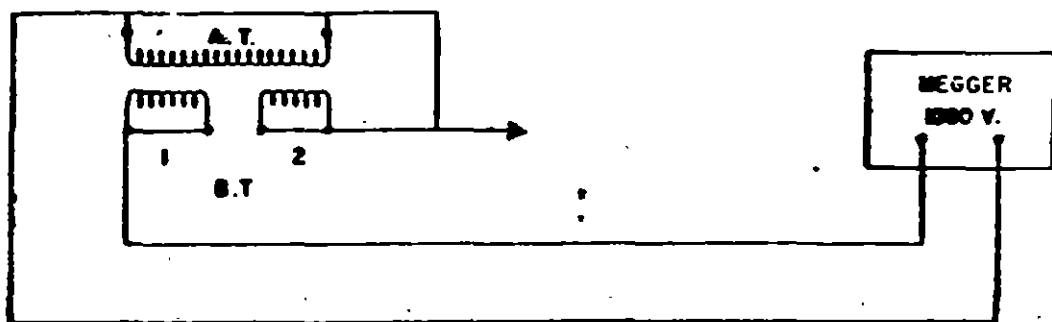
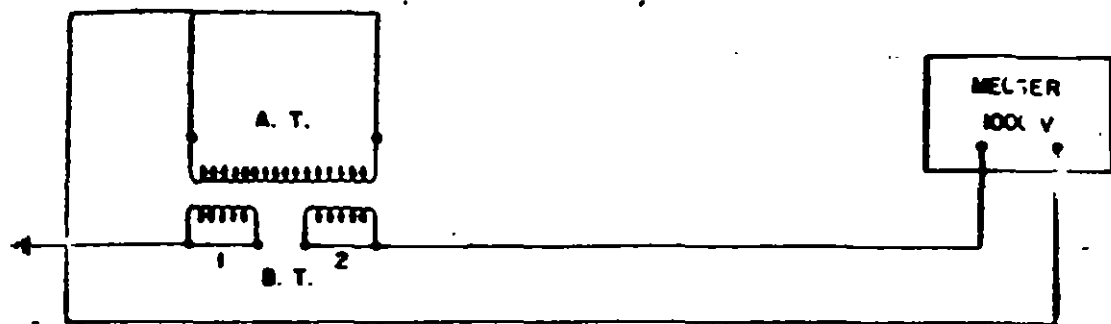


ALTO VOLTAJE vs. BAJO VOLTAJE + TANQUE A TIERRA

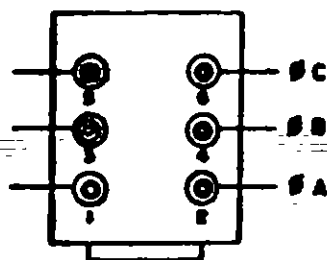
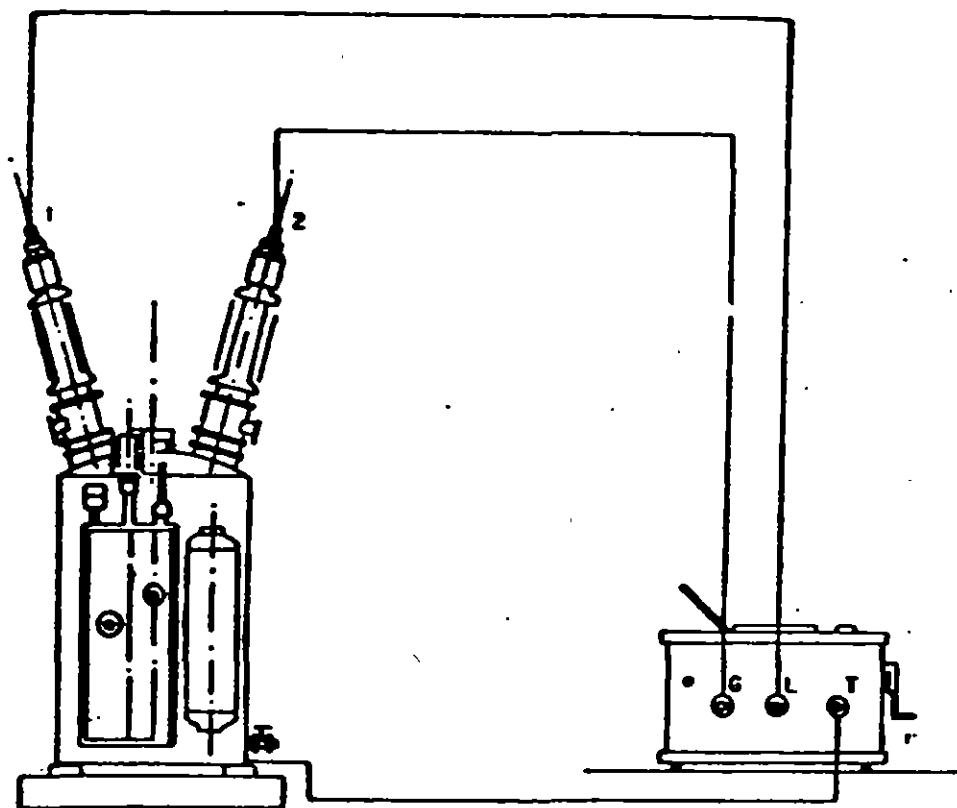


ALTO VOLTAJE + TANQUE A TIERRA vs. BAJO VOLTAJE

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A TC's



PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A INTERRUPTORES



VISTA DE PLANTA
DEL INTERRUPTOR

PRUEBA	POSICION	CONEXIONES			MIDE
		L	T	G	
1	ABIERTO	1	TANQUE	2	BOO. 1
2	"	2	"	1	" 2
3	"	3	"	4	" 3
4	"	4	"	3	" 4
5	"	5	"	6	" 5
6	"	6	"	5	" 6
7	CERRADO	1-2	"	—	FASE "A"
8	"	3-4	"	—	FASE "B"
9	"	5-6	"	—	FASE "C"

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A INTERRUPTORES EN ACEITE

NOMENCLATURA

C₁ ENSAMBLAMIENTO DEL CONTACTO FIJO 1

C₂ ENSAMBLAMIENTO DEL CONTACTO FIJO 2

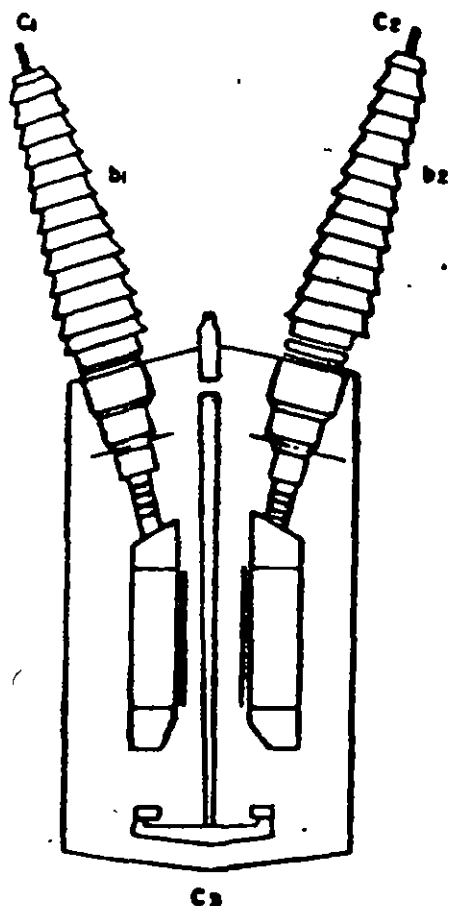
C = C₁ + C₂ + C₃

b₁ PORCELANA DE LA BOOQUILLA 1

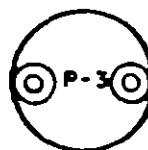
b₂ PORCELANA DE LA BOOQUILLA 2

SE SEGUIRA LA SIGUIENTE CONVENCION PARA EL REGISTRO DE LOS VALORES OBTENIDOS EN LAS TARJETAS:

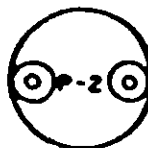
VISTO EL INTERRUPTOR DESDE SU MECANISMO DE OPERACION SE TENDRAN LOS POLOS 1, 2 Y 3. DE IZQUIERDA O DERECHA TENDREMOS C₁, b₁, C₂, b₂ Y C₃ DEL TANQUE 1, C₁, b₁, C₂, b₂, Y C₃ DEL TANQUE 2 Y LO MISMO PARA EL TANQUE 3.



SC = C₁, b₁ (P-3) C₂, b₂ S



SB = C₁, b₁ (P-2) C₂, b₂ S



SA = C₁, b₁ (P-1) C₂, b₂ S



C-3

MECANISMO

PRUEBAS CON MEGGER

POSICION INTERRUPTOR	PARA MEDIR	CONECTAR			KV DE PRUEBA	DURACION
		LINEA	TIERRA	GUARDA		
ABIERTO	C ₁	C ₁	TANQUE	b ₁ , b ₂ y C ₂	2.5	1 MINUTO
ABIERTO	b ₁	b ₁	TANQUE	b ₂ , C ₁ y C ₂	2.5	1 MINUTO
ABIERTO	C ₂	C ₂	TANQUE	b ₁ , b ₂ y C ₁	2.5	1 MINUTO
ABIERTO	b ₂	b ₂	TANQUE	b ₁ , C ₁ y C ₂	2.5	1 MINUTO
CERRADO	CADA FASE	C ₁ o C ₂	TANQUE	b ₁ o b ₂	2.5	1 MINUTO

11.3.- PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A TRANSFORMADORES.

La prueba de perdidas dielectricas y de factor de potencia aplicada a transformadores es sumamente completa , pues permite detectar la presencia de humedad, carbonización y otros tipos de contaminación del aislante de devanados , boquillas y del aislante liquido en transformadores.

Las deformaciones de los devanados se descubren por un cambio en la capacitancia , valor que se mide durante la prueba de factor de potencia .

Las espiras en corto circuito o parcialmente en corto circuito se manifiestan en un valor de corriente elevado que se obtiene con la prueba adicional de corriente de excitación.

La detección de deterioro en el aislamiento de devanados , boquillas , o líquidos aislantes puede localizarse mediante pruebas independientes a cada uno de sus componentes , para proporcionar un análisis más eficaz de los resultados de prueba .

Al realizar las pruebas de transformadores deben cumplirse las siguientes condiciones :

- 1) El transformador debe estar desenergizado y aislado por completo de la red de energía .
- 2) El tanque del transformador debe estar debidamente conectado a tierra.
- 3) Todas las boquillas de cada devanado inclusive los neutros , deben conectarse entre si con objeto de poner cada devanado en corto circuito , para eliminar los efectos de la inductancia del devanado , los puntos neutros deben estar desconectados de tierra.

TENSIONES DE PRUEBA.-

~~Las tensiones de prueba recomendados por DOBLE para efectuar pruebas de factor de potencia en transformadores de potencia y distribución con liquido aislante :~~

CAPACIDAD NOMINAL DE LOS DEVANADOS DEL TRANSFORMADOR (KV)	TENSION DE PRUEBA (KV)
12 o más	10
4.04 a 8.72	5
2.4 a 4.8	2
menor de 2.4	1

En caso de alguna anormalidad en los resultados , puede resultar interesante efectuar una serie de pruebas a varias tensiones distintas , a fin de determinar si el factor causante de la anormalidad alineal o dependiente de la tensión , dentro de los limites de variación de tensión indicados para las pruebas de la DOBLE.

Entre otras cosas , se podría aumentar la tensión de prueba a un valor superior a la norma por ejemplo llegar a 12 KV en los casos de los devanados que normalmente se prueban a 10 KV.

Las tensiones de prueba recomendados por la DOBLE para efectuar pruebas de factor de potencia en transformadores de potencia y distribución con aislante liquido , previa extracción de dicho liquido aislante y a presión atmosférica de aire -gas (no al vacío).

CAPACIDAD NOMINAL DE DEVANADOS
DEL TRANSFORMADOR (KV)

TENSION DE PRUEBA
(KV)

DEVANADOS CONECTADOS EN DELTA

161 o más	10
115 a 138	5
34 a 69	2
12 a 25	1
menos de 12	0.5

DEVANADOS CONECTADOS EN ESTRELLA

12 o más	1
menos de 12	0.5

Las pruebas pueden realizarse a presión atmosférica o superior , con aire o con nitrógeno , nunca deben aplicarse las tensiones de prueba recomendadas por la DOBLE a un transformador cuyos devanados se encuentren parcialmente en vacío .

Las tensiones de prueba recomendadas por la DOBLE para efectuar pruebas de factor de potencia en transformadores de potencia y distribución tipo seco

CAPACIDAD NOMINAL DE DEVANADOS
PRUEBA
DEL TRANSFORMADOR (KV)

TENSION DE
(KV)

DEVANADOS CONECTADOS EN DELTA
Y ESTRELLA SIN CONEXION A TIERRA

Más de 14.4	2 y 10
12 a 14.4	2 y 10
5.04 a 8.72	2 y 5
2.40 a 4.8	2
Menos de 2.4	1

DEVANADOS CONECTADOS EN ESTRELLA
CON CONEXION A TIERRA.

2.4 o más	2
menos de 2.4	1

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.-

El procedimiento de prueba para transformadores de dos devanados se sintetiza en la siguiente tabla :

No- PRUEBA CAPACIDAD	ENERGIZADO	PUESTO A		CIRCUITO DE MEDIDA
		TIERRA	GUARDA	
1	ALTA	BAJA	-----	CH+CHL
2	ALTA	----	BAJA	CH
3	BAJA	ALTA	-----	CL+CHL
4	BAJA	---	ALTA	CL

ANALISIS DE RESULTADOS.-

El aislamiento de los transformadores de potencia así como los transformadores de distribución en baño de aceite y transformadores de potencia y distribución del tipo seco , pueden presentar factores de potencia superiores al 0.5% .

Los datos deben analizarse en base a las comparaciones con resultados de prueba de equipos similares.

La CAPACITANCIA de CH , CL , CHL deben de compararse con los datos de fabrica o con los resultados anteriores .
La capacitancia es una función de la geometría de los devanados y normalmente debe permanecer estable .

Un cambio en la capacitancia indica que se ha producido un movimiento del devanado , tal como el que provocaría un fallo de perforación , lo más probable es que estos cambios tengan lugar en los aislantes CL y CHL .

La investigación de resultados anormales debe incluir la realización de pruebas adicionales a varias tensiones distintas.

11.4.- PRUEBAS AL ACEITE AISLANTE

Como ya se menciona anteriormente las pruebas en campo al aceite del transformador son :

- a) RIGIDEZ DIELECTRICA .- Basada en el procedimiento y la norma detalladas en el capítulo 10.
- b) FACTOR DE POTENCIA.- Basado en los procedimiento y la norma detalladas en el capítulo 10.

Cuando por ningún medio se logre subir el valor de la rigidez dielectrica de un aceite se puede considerar que dicho aceite esta envejeciendo .

Un valor alto de F.P en un aceite , indica degradamiento , contaminación , humedad , carbón o algunas partículas conductoras
Los valores aceptables son:
aceite nuevo menor a 0.05%
aceite usado menor a 0.5%

11.5.- RELACION DE TRANSFORMACION.-

La relación de transformación deberá de realizarse en todas las posiciones del cambiador de posiciones.

La relación medida , deberá estar dentro de los límites con respecto a la relación teórica con un margen de 0.5% .

12.- CRITERIOS DE ACEPTACION .-

Los criterios de aceptación para valores de prueba de diferentes equipos , se pueden analizar en función a los valores que indica cada fabricante y valores estadísticos de pruebas realizadas .

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO .-

CLASE DE AISLA- MIENTO (KV)	REGLA DE 1 M /KV A 75 C	VALORES DE FABRICANTE	LyF
0.220	11	6	37
6	288	162	300
23	1104	621	1000
85	4080	2295	3100
230	11040	6210	8500
400	19200	10800	15000
	K=48	K=27	K=37.5

CORRECCION POR TEMPERATURA

$$R_c = -K_t \times R_t$$

DONDE.-

Rc.- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CORREGIDA

Kt.- COEFICIENTE DE CORRECCION POR TEMPERATURA

Rt.- RESISTENCIA MEDIDA A UNA TEMPERATURA

FACTOR DE POTENCIA .-

Los valores minimos aceptables para la prueba de factor de potencia a diferentes equipos son :

ACEITE DE TRANSFORMADOR NUEVO .- 0.05 %
 ACEITE DE TRANSFORMADOR USADO.- 0.5 %

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION NUEVOS .- 1.5 %
 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION USADOS .- 2.5 %

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y POTENCIAL DE PORCELANA .- 1.0%
 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y POTENCIAL DE RESINA .- 2.0%

CABLES DE ENERGIA NUEVOS .- 0.5 %
 CABLES DE ENERGIA USADOS .- 1.0 %

PERDIDAS DIELECTRICAS A PORCELANA .- 0.15 WATTS A 10 KV .
 9.0 MILIWATTS A 2.5 KV.

RIGIDEZ DIELECTRICA AL ACEITE .-

ASTM- 877 ----- 30 KV CON ELECTRODOS PLANOS
 ASTM-1816 ----- 35 KV CON ELECTRODOS ESFERICOS
 LUZ Y FUERZA----- 40 KV CON ELECTRODOS PLANOS

RELACION DE TRANSFORMACION.-

Los valores obtenidos en la prueba de relacion de transformaci3n deberan estar dentro de los siguientes limites :

LIMITE SUPERIOR = RELACION TEORICA X 1.005

LIMITE INFERIOR = RELACION TEORICA X 0.995

RESISTENCIA DE CONTACTOS.-

Los valores estadisticos de pruebas , obtenidos en la prueba de resistencia de contactos nos indican un valor aceptable de 30 micro-ohms por punto de contacto .

S.E. _____

CIRCUITO _____

FECHA _____

DATOS DE PLACA :

Marca _____

Tension Nominal _____

Potencia _____

Enfriamiento _____

Tipo _____

% Impedancia _____

No. Serie _____

Peso Total _____

Aceite _____

Kg.

LTS.

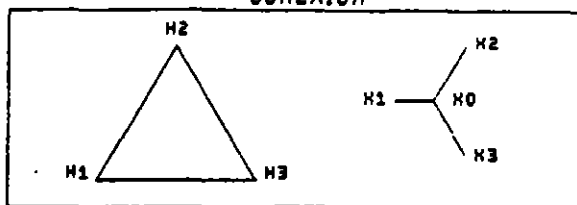
Nuevo ☐

Usado ☒

Pruebas Preliminares ☐

Pruebas Finales ☒

CONEXION



PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DATOS EQUIPO DE PRUEBA :

Marca NORMA

Tension de Prueba 1000 V

Tiempo de Prueba 1 MINUTO

No. de Serie _____

Temp. Ambiente _____ °C

Temp. Aceite _____ °C

PRUEBAS	LECTURAS EN M		RESULTADO DE LA PRUEBA
	ANTES DEL REFIL.	DESPUES DEL REFIL.	
H - X			B I E N
H - X + T			"
X - H + T			"
H - T			"
X - T			"

OBSERVACIONES : _____

EFECTUO LA PRUEBA

ING. ENRIQUE JIMENEZ O.

Nombre y Firma

DEPTO. RECEPTOR

ING.

Nombre y Firma

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

DATOS EQUIPO DE PRUEBA :

Marca BIDDLE

No. Serie _____

Fecha _____

ALTA TENSION		BAJA TENSION	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			LIMITES	
POS. CAM DER	TENSION	TENSION		FASE A	FASE B	FASE C	INFERIOR RELACION TEORICA POR 0.995	SUPERIOR RELACION TEORICA POR 1.005
1								
2								
3								
4								
5								

OBSERVACIONES : _____

EFFECTUO LA PRUEBA

DEPTO. RECEPTOR

Nombre y Firma _____

Nombre y Firma _____

PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA CON ACEITE Y BOQUILLAS

DATOS EQUIPO DE PRUEBA :

Marca DOBLE

No. Serie _____

Tension de Prueba 2.5 KV.

Temp. Ambiente _____ °C

Fecha _____

Temp. Aceite _____ °C

P R U E B A	CONEXIONES PARA LA PRUEBA				LECTURAS EQUIVALENTES <u>2.5</u> KV.						Z FACTOR DE POTENCIA		A I S L E D O M	RESULTADO DE LA PRUEBA
	DEVARADO				MV AMPERES			M WATTS						
	ENERG.	GROUND	GUARD	UST	LECTURA	MULTIPLI.	MV AMP.	LECTURA	MULTIPLI.	M WATT	MEDIDO	20 C		
1	ALTA	BAJA												B I E N
2	ALTA		BAJA										CH	"
3	ALTA			BAJA										"
CALCULOS			PRUEBA MENOS PRUEBA 2										CHX	"
4	MUESTRA DE ACEITE													"

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA AL ACEITE

DATOS EQUIPO DE PRUEBA :

Marca RESEARCH

No. Serie _____

Temp. Aceite _____ °C

Temp. Ambiente _____ °C

MUESTRA No.	VALORES DE RUPTURA EN KV.					KV PROMEDIO	NORMA DE LA PRUEBA	ACEITE		RESULTADO DE LA PRUEBA
	1	2	3	4	5			NUEVO	USADO	
							ASTM		X	B I E N

OBSERVACIONES :

EFFECTUO LA PRUEBA

DEPTO. RECEPTOR

Nombre y Firma

Nombre y Firma

CUCHILLAS DESCONECTADORAS

IEPSA

S.E. _____

CIRCUITO _____

FECHA _____

DATOS DE PLACA :

Marca _____

Nuevo ☐

Tension Nominal _____

Usado ☒

Corriente nominal _____

Pruebas Preliminares ☐

Tipo _____

Pruebas Finales ☒

Mecanismo _____

No. Serie _____

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS**DATOS EQUIPO DE PRUEBA :**

Marca _____

No. de Serie _____

MICRO OHMS ENTRE DOS TERMINALES DEL POLO			RESULTADO DE LA PRUEBA
1	2	3	

OBSERVACIONES : _____

EFECTUO LA PRUEBA

DEPTO. RECEPTOR

ING. ENRIQUE JIMENEZ O.

ING. _____

Nombre y Firma

Nombre y Firma

INTERRUPTOR DE POTENCIA

IEPSA

1 DE 4

S.E. _____

CIRCUITO _____

FECHA _____

DATOS DE PLACA :

Marca _____

Nuevo ☐

Tension Nominal _____

Usado ☒

Corriente nominal _____

Pruebas Preliminares ☐

Tipo _____

Pruebas Finales ☒

Mecanismo _____

No. Serie _____

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DATOS EQUIPO DE PRUEBA :

Marca NORMA

No. de Serie _____

Tension de Prueba 1000 V

Temp. Ambiente _____ °C

Tiempo de Prueba 1 MINUTO

Temp. Aceite _____ °C

FASE	PRUEBAS	LECTURAS EN $M\Omega$		RESULTADO DE LA PRUEBA
		ANTES DEL REFIL.	CORREGIDAS A 20 °C	
A	H - T			
B	H - T			
C	H - T			

~~X=INT.=CERRADO~~

OBSERVACIONES : _____

EFFECTUO LA PRUEBA

DEPTO. RECEPTOR

ING. ENRIQUE JIMENEZ O.

ING.

Nombre y Firma

Nombre y Firma

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA AL ACEITE

DATOS EQUIPO DE PRUEBA :

Marca _____

No. de Serie _____

Temp. Ambiente _____ °C

VALORES DE RUPTURA EN K.V.					K.V. PROMEDIO	NORMA DE LA PRUEBA	RESULTADO DE LA PRUEBA
1	2	3	4	5			

PRUEBAS DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL GAS

DATOS EQUIPO DE PRUEBA : Marca _____ No. de Serie _____ No. Bulbo _____

Presion del Sist. _____

Temp. Ambiente _____ °C

Tipo de gas _____

Temp. Gas _____ °C

LECTURA DEL PUNTO DE ROCIO	PRESION DE VAPOR EN MICRONES	CONTENIDO DE HUMEDAD EN P.P.M.V.	RESULTADO DE LA PRUEBA

PRUEBAS DE VOLTAJES MINIMOS DE OPERACION

BOBINA	LECTURAS EN VOLTS	RESULTADO DE LA PRUEBA
CIERRE		
DISPARO No. 1		
DISPARO No. 2		

EFECTUO LA PRUEBA

ING. ENRIQUE JIMENEZ O.

Nombre y Firma:

DEPTO. RECEPTOR

ING.

Nombre y Firma:

INTERRUPTOR DE POTENCIA

IEPSA

3 DE 4

PRUEBA DE PERDIDAS DIELECTRICAS

DATOS EQUIPO DE PRUEBA :

Marca DOBLE

Fecha _____

No. de Serie _____

Temp. Ambiente _____ °C

Tension de Prueba _____ KV

POSICION DEL INTERRUPTOR	FASE	CAMARA No.	LECTURAS EQUIVALENTES _____KV						% F.P.
			_____m_____ AMPERES			_____WATTS			
			LECTURA	MULTIPL.	m AMP.	LECTURA	MULTIPL.	_____WATTS	
ABIERTO		1							
		2							
		3							
		4							
		5							
		6							
CERRADO		1 - 2							
		3 - 4							
		5 - 6							

CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FASE		RESULTADO DE LA PRUEBA
FASE	ABIERTO - CERRADO	
A		
B		
C		

OBSERVACIONES : _____

EFFECTUO LA PRUEBA

ING. ENRIQUE JIMENEZ O.

Nombre y Firma

DEPTO. RECEPTOR

ING.

Nombre y Firma

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- Procedimientos para pruebas de Resistencia de Aislamiento en equipo eléctrico "MEGGER"..., C.F.E.
- 2.- Inspection and Test of. Electrical Equipment.
Westinghouse Electric Service Division.
- 3.- Instalation Maintenance of. Power Transformers.
Westinghouse Electric Co.
- 4.- Annual Book of. ASTM Standarts.
Electrical Insulating. Materials.
- 5.- Normas Técnicas para instalaciones Electricas
Secretaria de patrimonio y fomento Industrial.
Directorio general de Normas.
- 6.- National Electrical Code. 1978
National Fire Protection Associa.
- 7.- Testing and Maintenance of. Molded case circuit Breakers.
General Electric.
- 8.- Instructivo "TTR" Biddle. (transformer Turn Ratio Test. Sets)
James G. Biddle Co.
- 9.- Instruction Book. MEU.
Doble Electrical Equipment.
- 10.- Instalation and Maintenance Instructions.
AV-Line. SEITCHBO ARDS GENERAL ELECTRIC:
- 11.- Capacitores de Potencia
Balmec S.A.
- 12.- IEEE Standart test Code For Distribution, Power and Regulating Transformer
C57-90-1973.

NORMAS CCONNIE DE CONSULTA.

NUMERO	DESCRIPCION
2.1.3	Métodos de pruebas de transformadores de Distribución y Potecia.
2.1.4	Transformadores de Distribución Subterránea tipo pedestal.
4.2.1	Métodos de prueba y funcionamiento de acumuladores Eléctricos Industriales tipo plomo ácido.
5.6.1	Definición de con Vocablos y Técnicos usados en Interruptores de Potencia.
5.6.2	Características Nominales de Interruptores de Alta tensión para C.A.
6.3.1	Métodos de pruebas y fusibles y cortos circuitos.
8.3.4	Aisladores de porcelana tipo alfiler para medi y baja tensión.
8.4.2	Métodos de pruebas para determinación de la Rigidez Dieléctrica de Materiales aislantes Eléctricos.
8.8.1	Aceite aislante no inhibido para transformadores.
14.1.1	Norma de calidad para Tableros Eléctricos de Distribución.
14.1.3.	Norma de Nomenclaturas, abreviaturas, números y símbolos usados en planos y diagramas eléctricos.
14.1.7	Métodos de pruebas para tableros eléctricos.
14.2.1	Tableros de alta tensión.



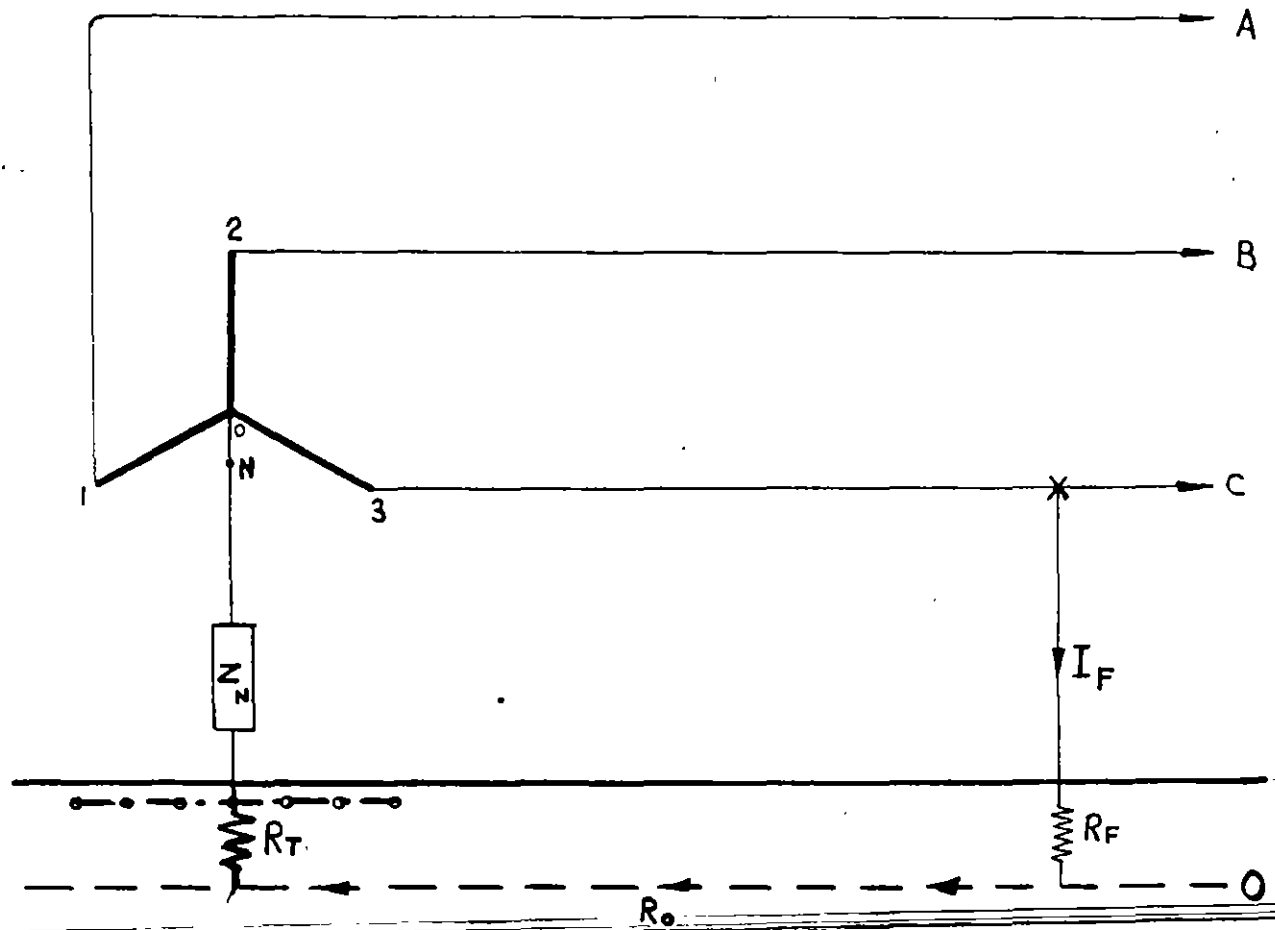
**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**TEMAS SELECTOS DE INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES II
(SISTEMA DE TIERRAS Y PRUEBAS DE CAMPO A EQUIPO)**

SISTEMAS DE TIERRAS II

ING: ENRIQUE OROZCO LOPEZ

SISTEMA ACTIVO

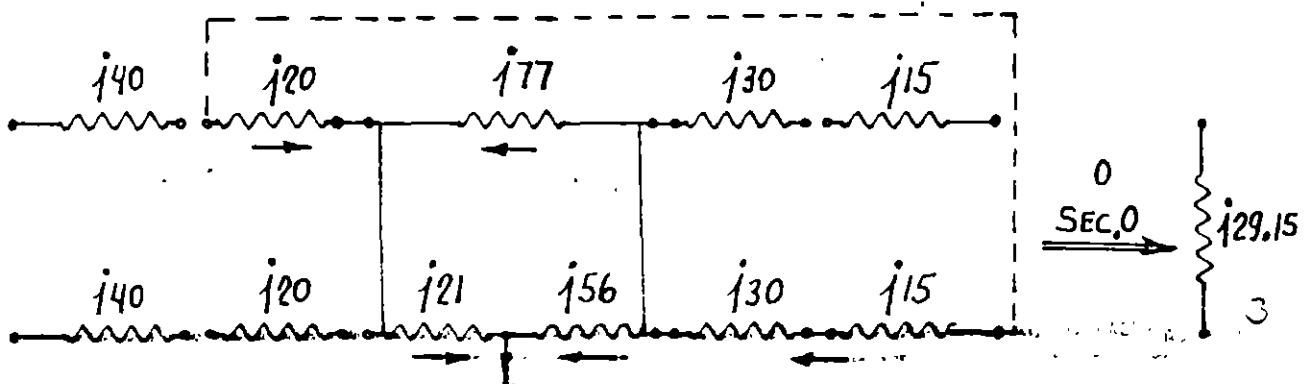
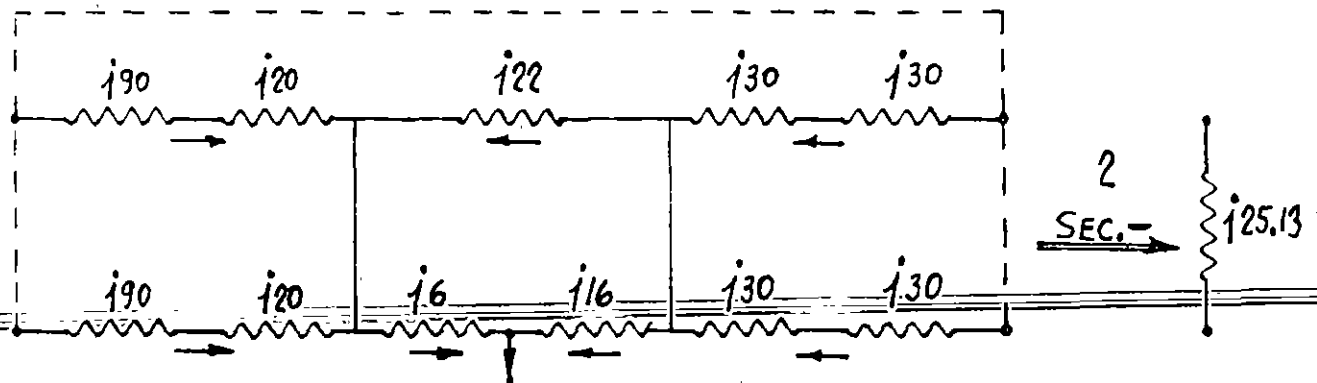
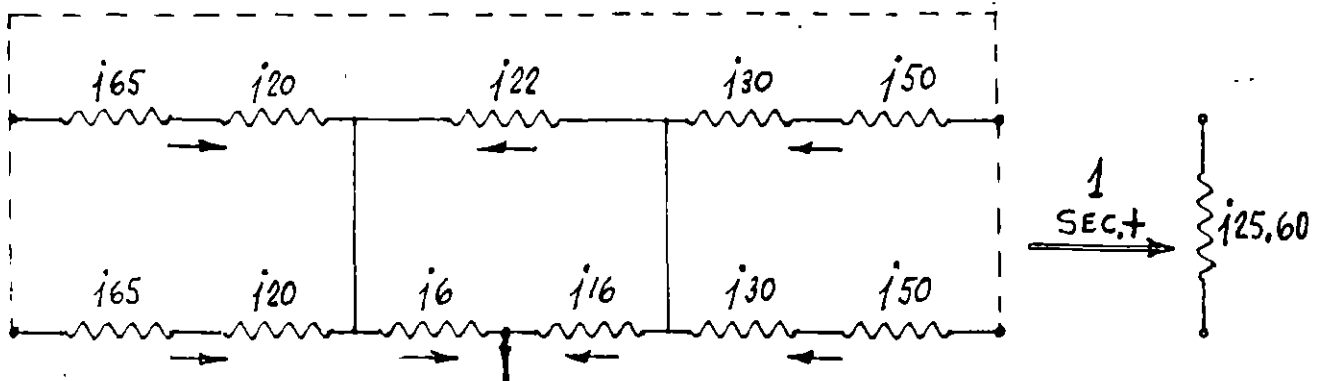
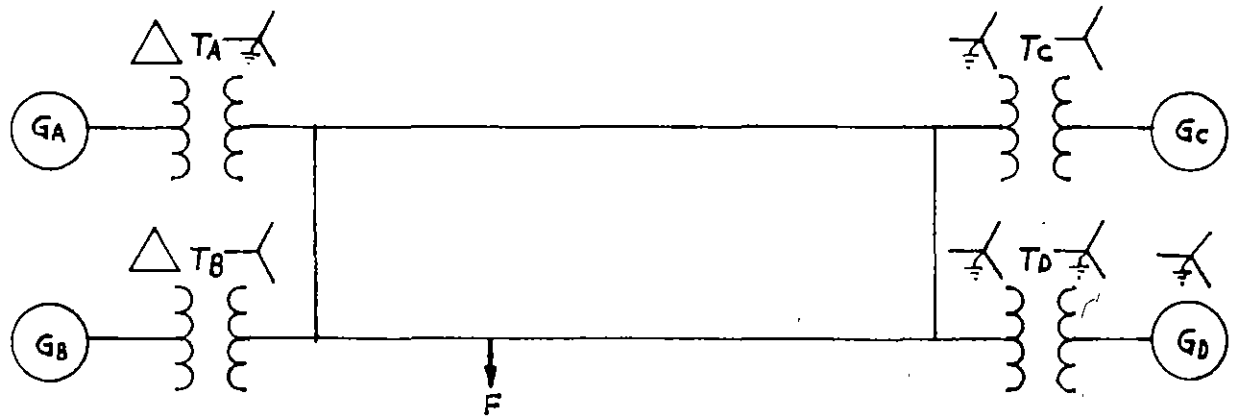


SISTEMA
DE
TIERRAS

¿PORQUE SE DEBE ATERRIZAR UN SISTEMA ?

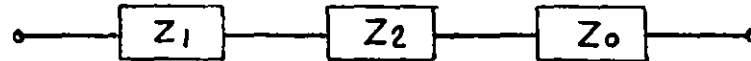
- 1_ TENER BAJO CONTROL LAS SOBRETENSIONES RESULTANTES A LA FRECUENCIA DEL SISTEMA.
- 2_ PERMITIR QUE LAS CORRIENTES DE FALLA TENGAN UN CAMINO CONTROLADO DE RETORNO.
- 3_ LIMITAR LAS TENSIONES DE TIERRA A VALORES SEGUROS PARA EL PERSONAL.
- 4_ CANALIZAR A TIERRA LAS CORRIENTES ORIGINA-
DAS POR LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS.

ILUSTRACION DE LA DETERMINACION DE LOS DIAGRAMAS DE SECUENCIA

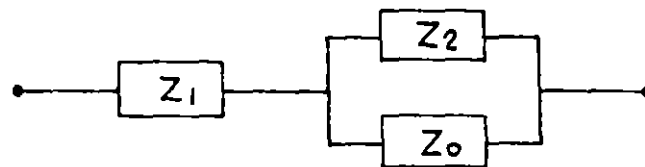


SOLUCIONES A FALLAS TÍPICAS

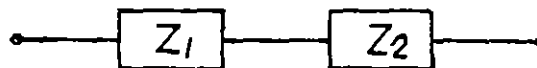
1. FALLA DE LINEA A TIERRA.



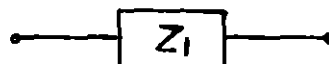
2. FALLA DE DOS LINEAS A TIERRA.



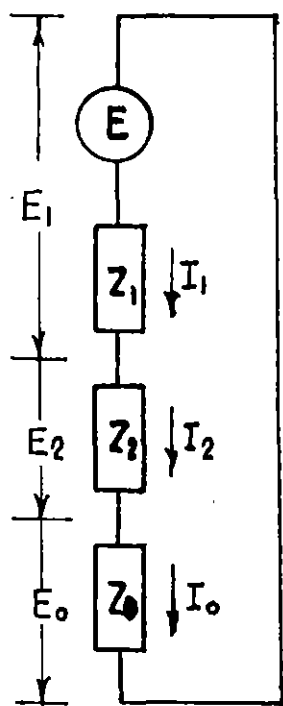
3. FALLA DE LINEA A LINEA.



4. FALLA DE TRES LINEAS.



SOLUCION A LA FALLA DE LINEA A TIERRA



$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$E_1 = E - I_1 Z_1 = E \left(1 - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \right)$$

$$E_2 = -I_2 Z_2 = -E \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$E_0 = -I_0 Z_0 = -E \frac{Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

EN UN CIRCUITO COMPLEJO DE POTENCIA $Z_1 \approx Z_2$

$$V_a = E_0 + E_1 + E_2 = 0 \quad \text{FALLA FASE } \overline{a} \perp$$

$$V_b = E_0 + a^2 E_1 + a E_2 = E \left(a^2 - \frac{a^2 Z_1 + a Z_1 + Z_0}{Z_0 + 2Z_1} \right)$$

$$V_c = E_0 + a E_1 + a^2 E_2 = E \left(a - \frac{a Z_1 + a^2 Z_1 + Z_0}{Z_0 + 2Z_1} \right)$$

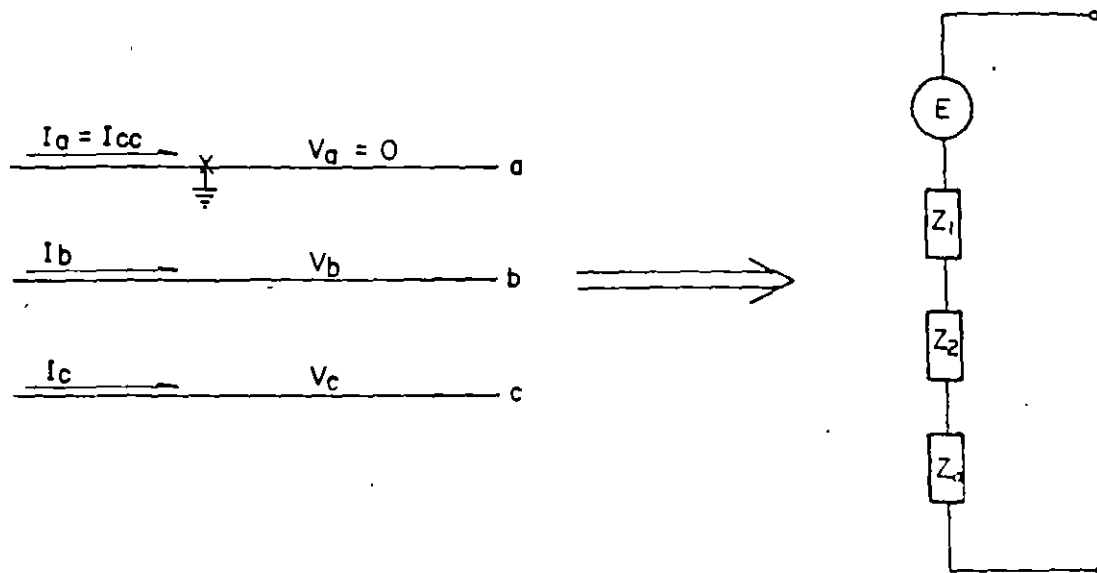
$$a = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \approx jX_1$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0 \approx jX_0$$

FALLA DE LINEA A TIERRA



RESOLVIENDO EN FUNCION DE LAS TENSIONES QUE APARECEN EN LAS FASES NO FALLADAS.

$$V_{b,c} = -\frac{1}{2} \mp j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\frac{X_0}{X_1} - 1}{\frac{X_0}{X_2} + 2}$$

$$\frac{X_0}{X_1}$$

$$|\mathcal{V}_{b,c}|$$

P.U.

$$0$$

$$\sqrt{3}/2$$

$$1.0$$

$$1.0$$

$$3.3$$

$$1.25$$

$$10$$

$$1.5$$

$$\infty$$

$$\sqrt{3}$$

SISTEMAS ATERRIZADOS

$$-1$$

$$\sqrt{3}$$

$$-1.5$$

$$4.51$$

$$-2.0$$

$$\infty$$

$$-3.0$$

$$4.51$$

$$-4.0$$

$$3.12$$

$$-6.0$$

$$2.41$$

$$-10$$

$$2.02$$

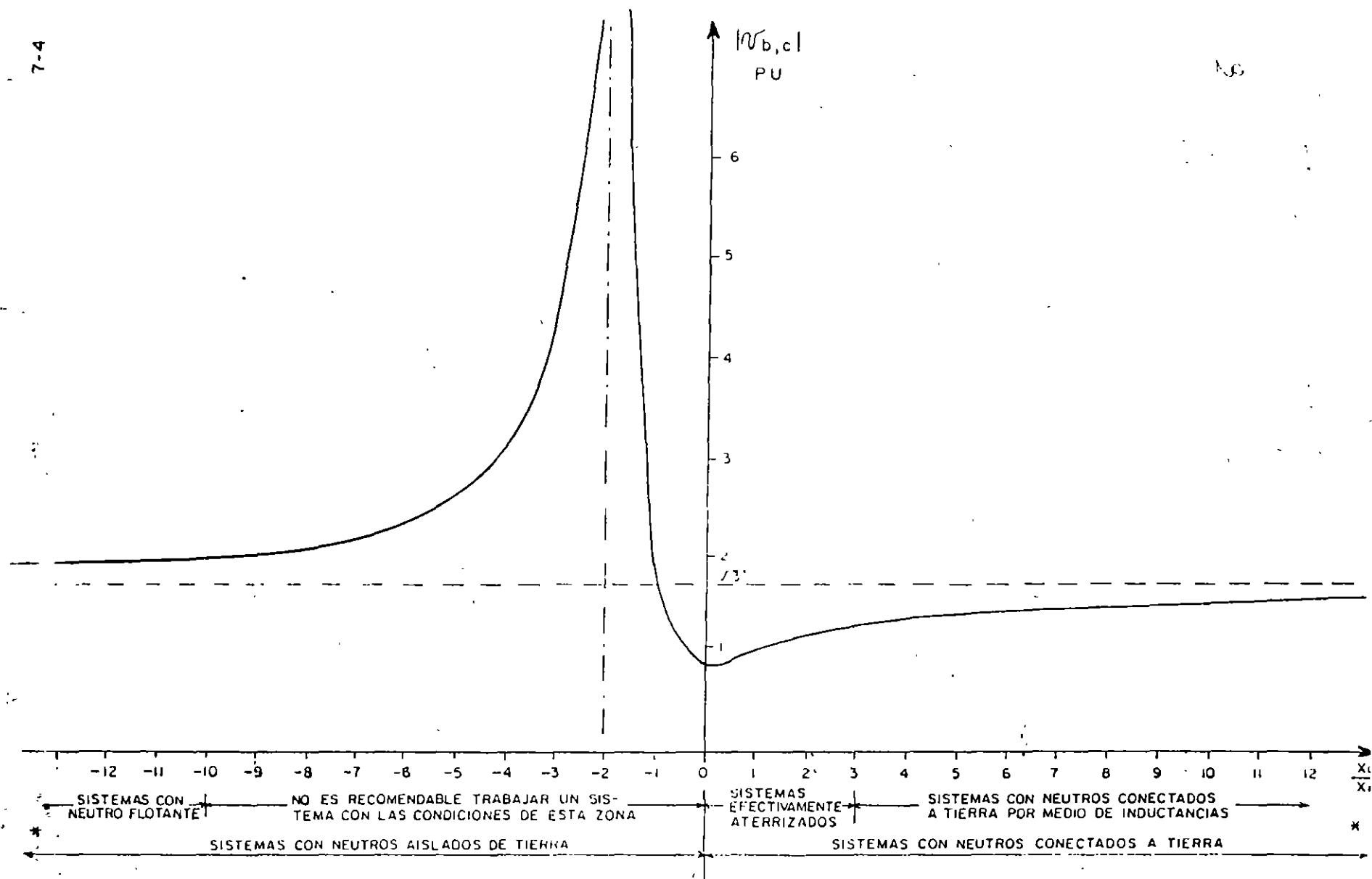
$$-40$$

$$1.8$$

$$-\infty$$

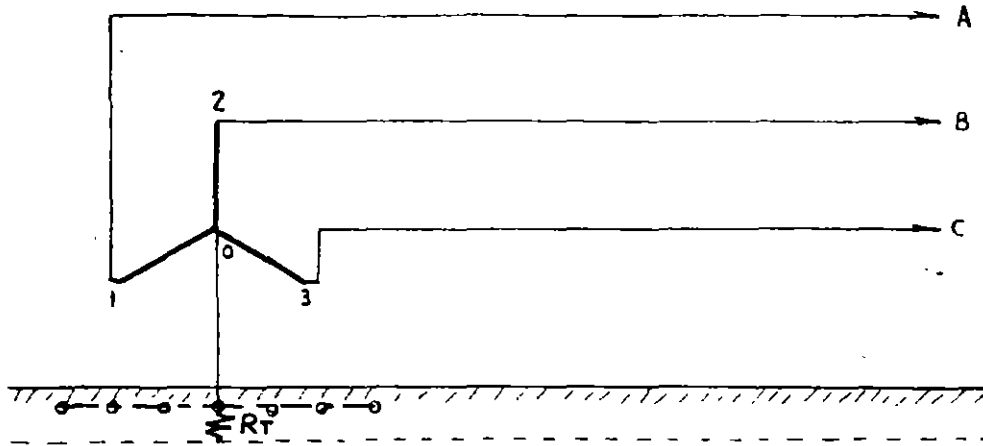
$$\sqrt{3}$$

SISTEMA CON NEUTRO FLOTANTE



* LOS PUNTOS EN DONDE $\frac{X_0}{X_1} \approx \pm \infty$ CORRESPONDEN A SISTEMAS CON EL NEUTRO CONECTADO A TIERRA POR MEDIO DE UNA BOBINA DE PETERSEN.

SISTEMA EFECTIVAMENTE ATERRIZADO



$$0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3$$

$$0 \leq \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

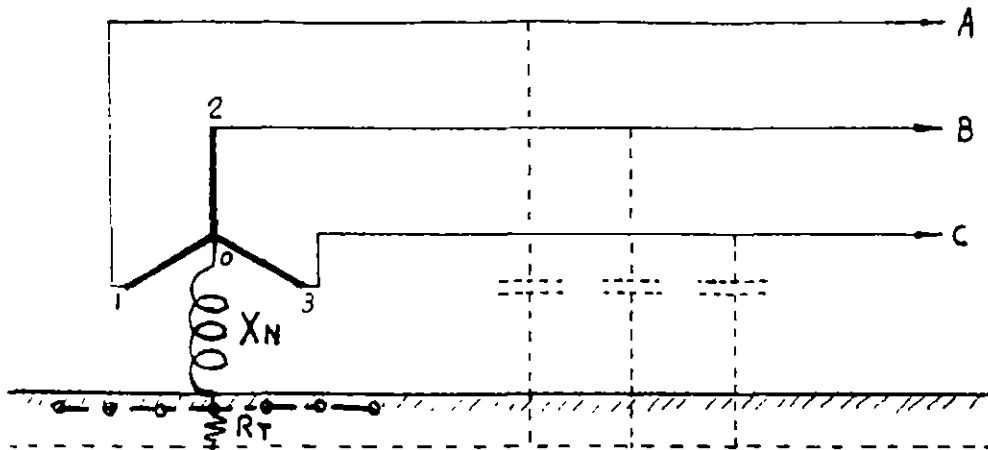
SOBRETENSION MAXIMA A 60Hz 1.4 P.U

FACTOR DE ATERRIZAMIENTO 0.8

— TODOS LOS SISTEMAS DEL SECTOR ELECTRICO TIENEN ESTAS CONDICIONES DE ATERRIZAMIENTO.

— LA MAYORIA DE LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES SON DE ESTA CATEGORIA DE ATERRIZAMIENTO.

SISTEMA ATERRIZADO POR REACTANCIA



$$3 < \frac{X_0}{X_1} < 10 \quad 0 \leq \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

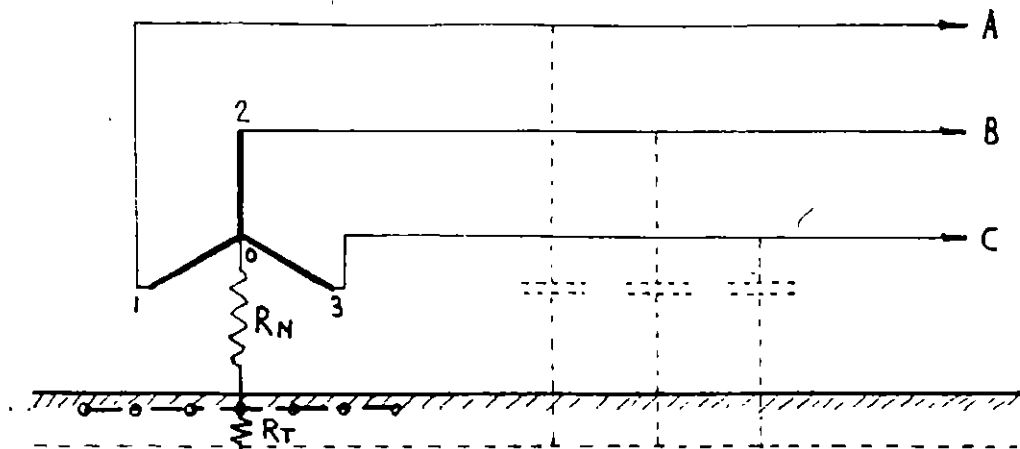
SOBRETENSION MAXIMA A 60 Hz 1.67 p.u.

FACTOR DE ATERRIZAMIENTO 0.95

- SE UTILIZA PARA LIMITAR LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO DE FASE A TIERRA A NIVEL DE BANCO O SUBESTACION.

NOTA: LAS OSCILACIONES DE LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS PUEDEN SER PELIGROSAS 2.7 p.u.

SISTEMA ATERRIZADO POR RESISTENCIA



$$0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3$$

$$1 < \frac{R_0}{X_1} < \frac{0.3}{\omega C_0} X_1 \text{ A } 2X_1$$

SIEMPRE DEBE SER $\rightarrow Z_N = \frac{R(-j\frac{1}{\omega C_0})}{R - j\frac{1}{\omega C_0}}$

$$R = R_N + R_T$$

$C_0 =$ CAPACITANCIA EN SECUENCIA CERO

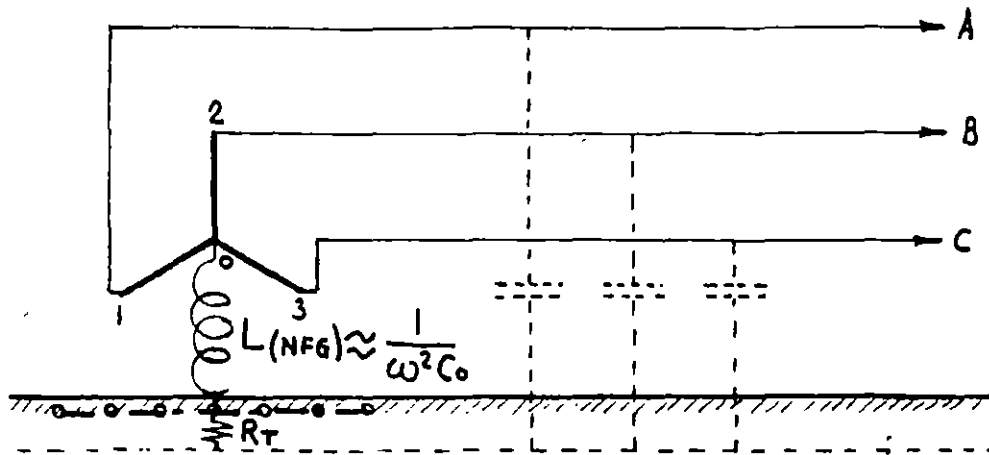
SOBRETENSION MAXIMA A 60 Hz < 1.73

FACTOR DE ATERRIZAMIENTO < 1

SE UTILIZA PARA LIMITAR LA CORRIENTE
DE CORTO CIRCUITO DE FASE A TIERRA A
NIVEL BANCO.

NOTA: LA RESISTENCIA ATENUA LAS SOBRETENSIONES
TRANSITORIAS.

SISTEMA ATERRIZADO POR BOBINA DE PETERSEN



$$X_{(NFG)} = \frac{j\omega L \left(-\frac{1}{\omega C_0}\right)}{j\omega L - \frac{1}{\omega C_0}} \approx \infty$$

C_0 = CAPACITANCIA EQUIVALENTE EN SECUENCIA CERO

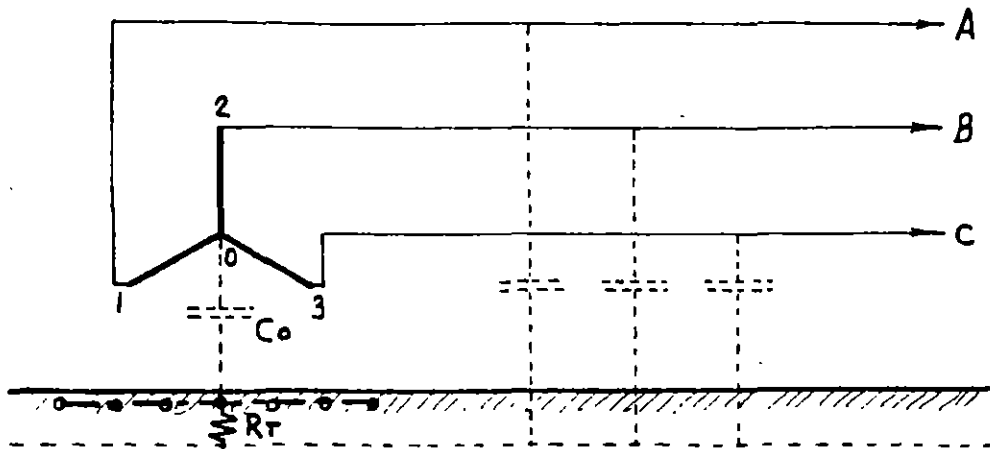
SOBRETENSION MAXIMA A 60 Hz 1.73 P.U.

FACTOR DE ATERRIZAMIENTO 1

- SOLAMENTE SE USA EN INSTALACIONES INDUSTRIALES QUE REQUIERAN PROCESOS CONTINUOS. PREVIA JUSTIFICACION ECONOMICA.

$$I_{CC} \text{ FASE A TIERRA} = 0$$

SISTEMA CON NEUTRO FLOTANTE



EL NEUTRO QUEDA ACOPLADO AL SISTEMA DE TIERRAS CON LA CAPACITANCIA EQUIVALENTE NATURAL EN SECUENCIA CERO DEL SISTEMA.

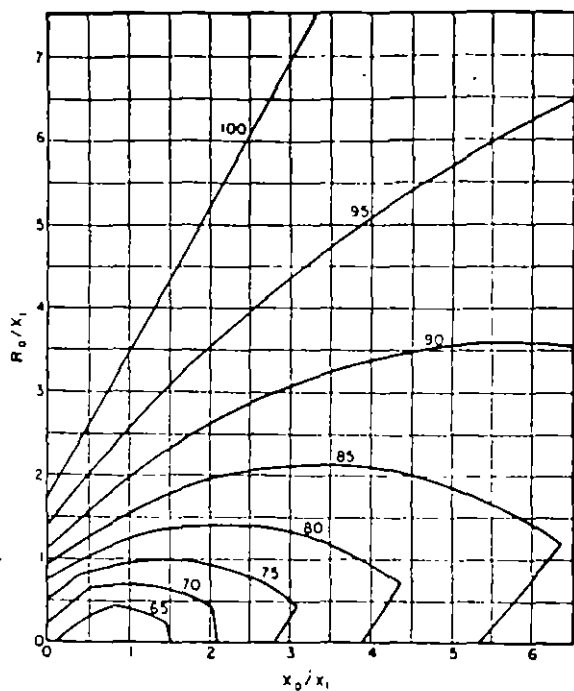
$$\frac{X_0}{X_1} \leq -10 \quad X_0 \text{ ES NEGATIVO.}$$

SOBRETENSION A 60 Hz 2 P.U.

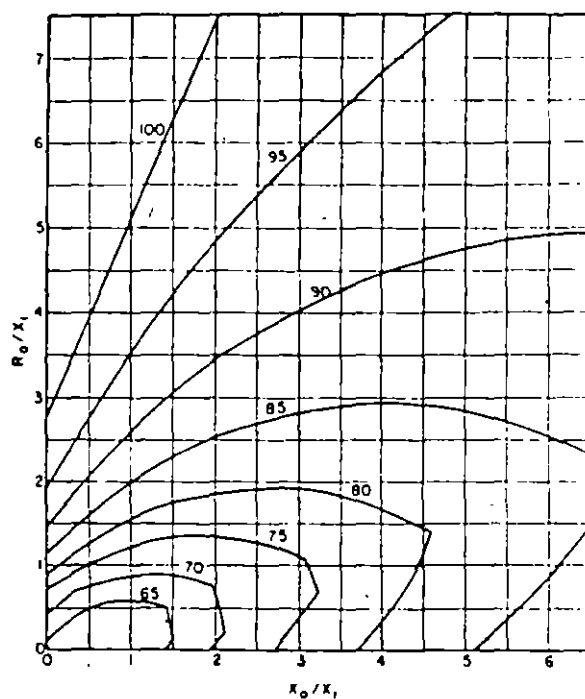
FACTOR DE ATERRIZAMIENTO 1.1

~~SOLAMENTE SE USA EN INSTALACIONES INDUSTRIALES~~
QUE REQUIERAN PROCESOS CONTINUOS. PREVIA
JUSTIFICACION ECONOMICA.

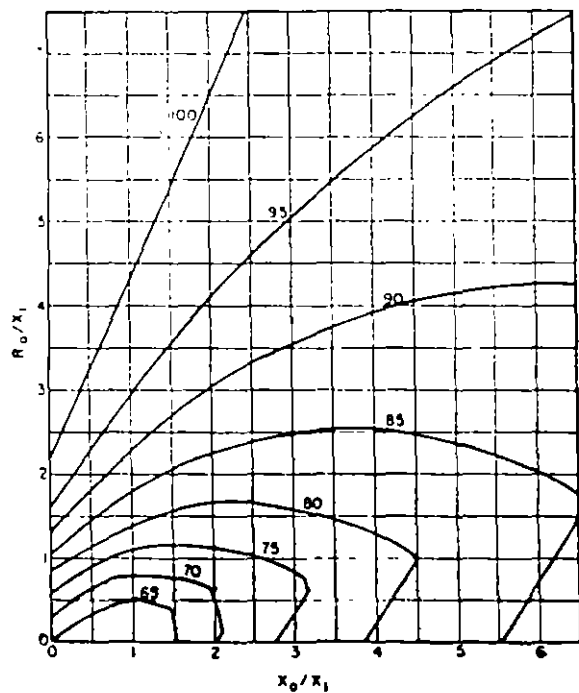
$$I_{CC} \text{ FASE A TIERRA} = 0$$



(a) Voltage conditions neglecting positive- and negative-sequence resistance— $R_1 = R_2 = 0$



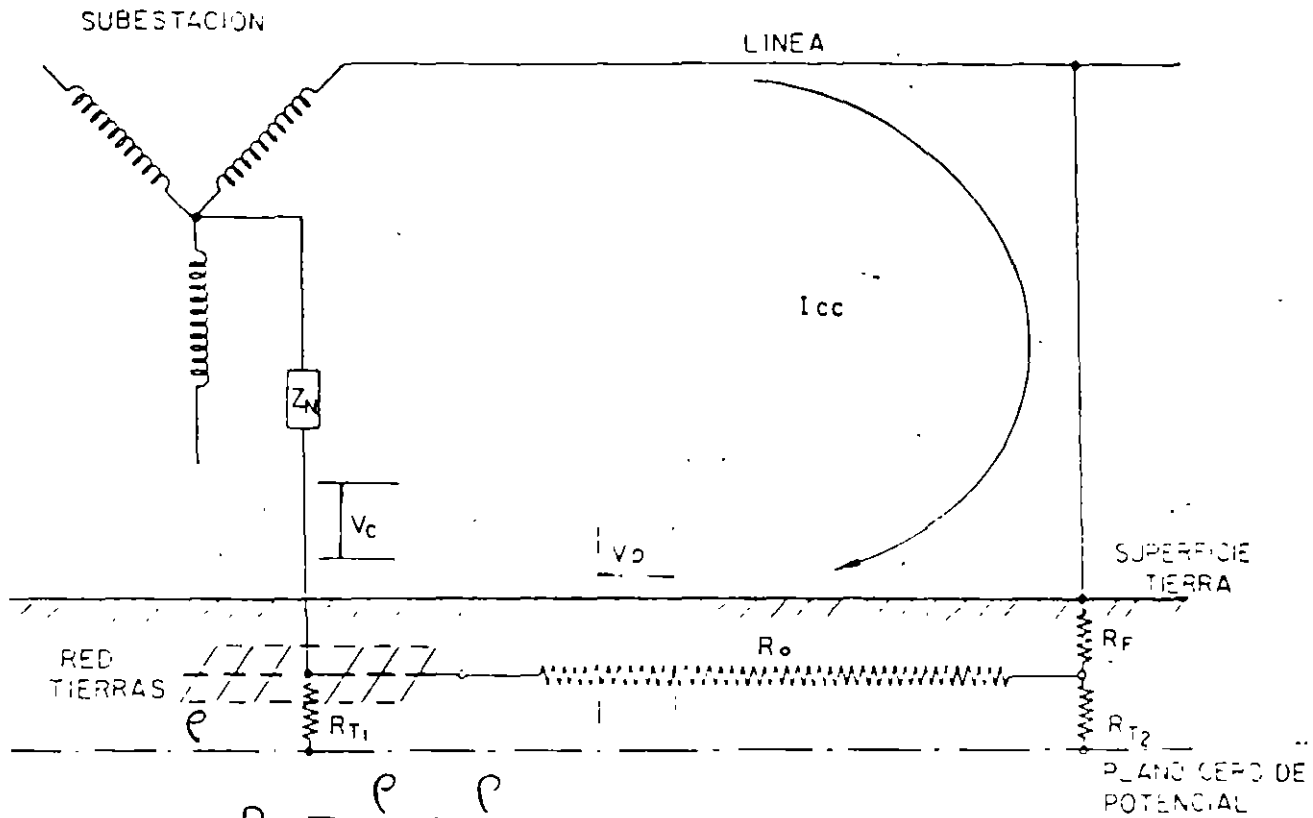
(c) Voltage conditions for $R_1 = R_2 = 0.2 X_1$



(b) Voltage conditions for $R_1 = R_2 = 0.1 X_1$

Figure 5-3
Maximum Line-to-ground Voltage at
Fault Location for Grounded Neu-
tral System Under Fault Condition.

CAIDA DE TENSION EN LA TIERRA



EFEECTO DE LA CORRIENTE EN EL SER HUMANO

m A

EFEECTO

1	UMBRAL DE PERCEPCION
9 - 25	DOLOR Y CONTRACCION MUSCULAR
25 - 50	SEVERA CONTRACCION MUSCULAR
50 - 100	FIBRILACION VENTRICULAR

RELACION DE CHARLES DALZIEL.

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

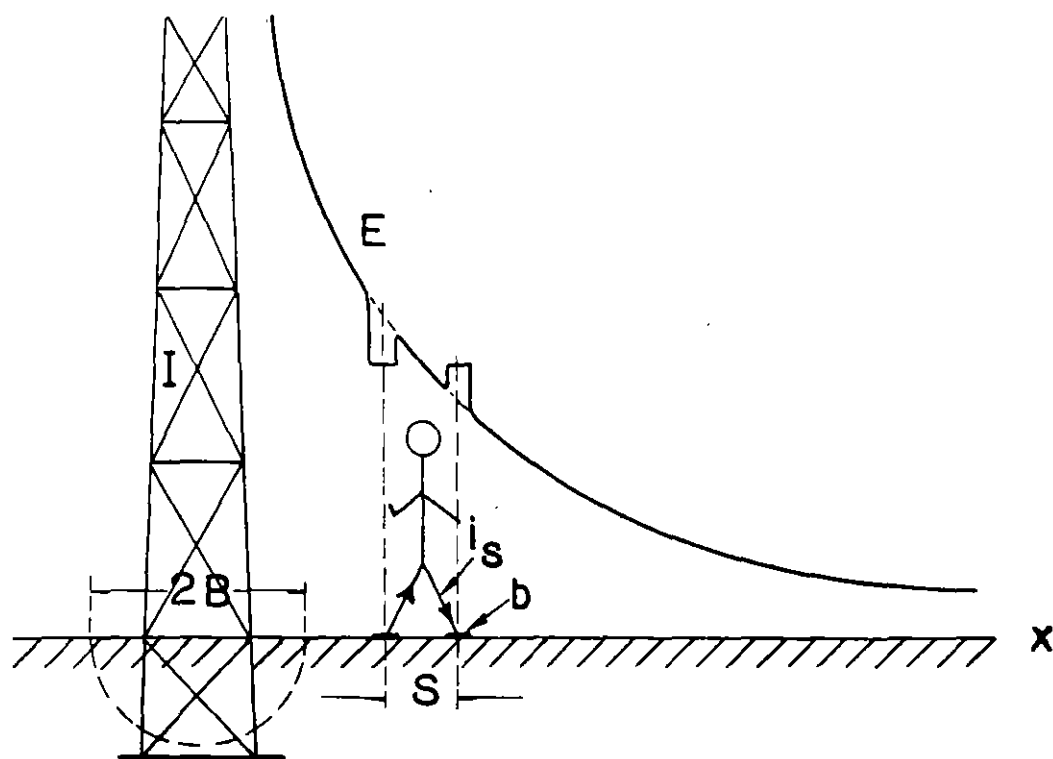


FIG 2 _ DISTRIBUCION DEL POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA
CERCA DE UN ELECTRODO QUE CONDUCE CORRIENTE.

FIG. 2

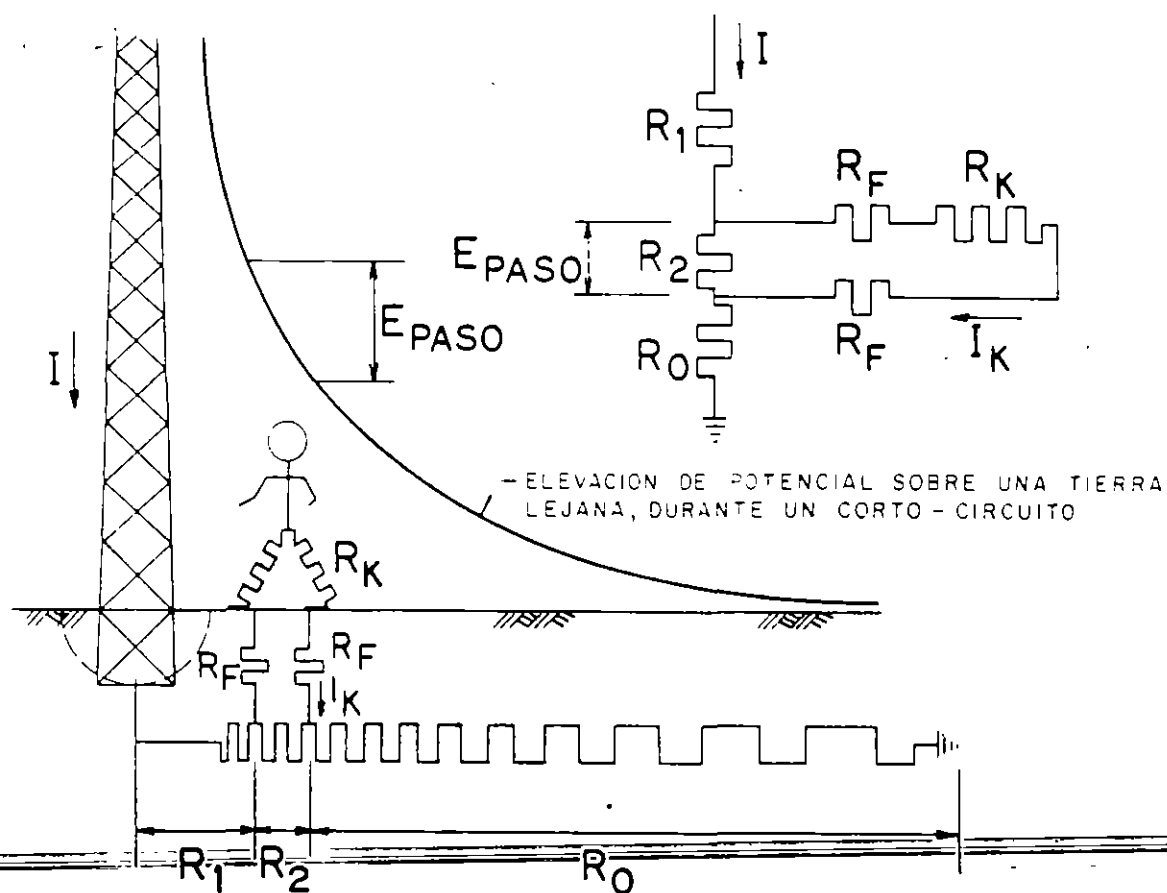


FIG. 3. _ TENSIONES DE PASO, CERCA DE UNA ESTRUCTURA CONECTADA A TIERRA

FIG. 3

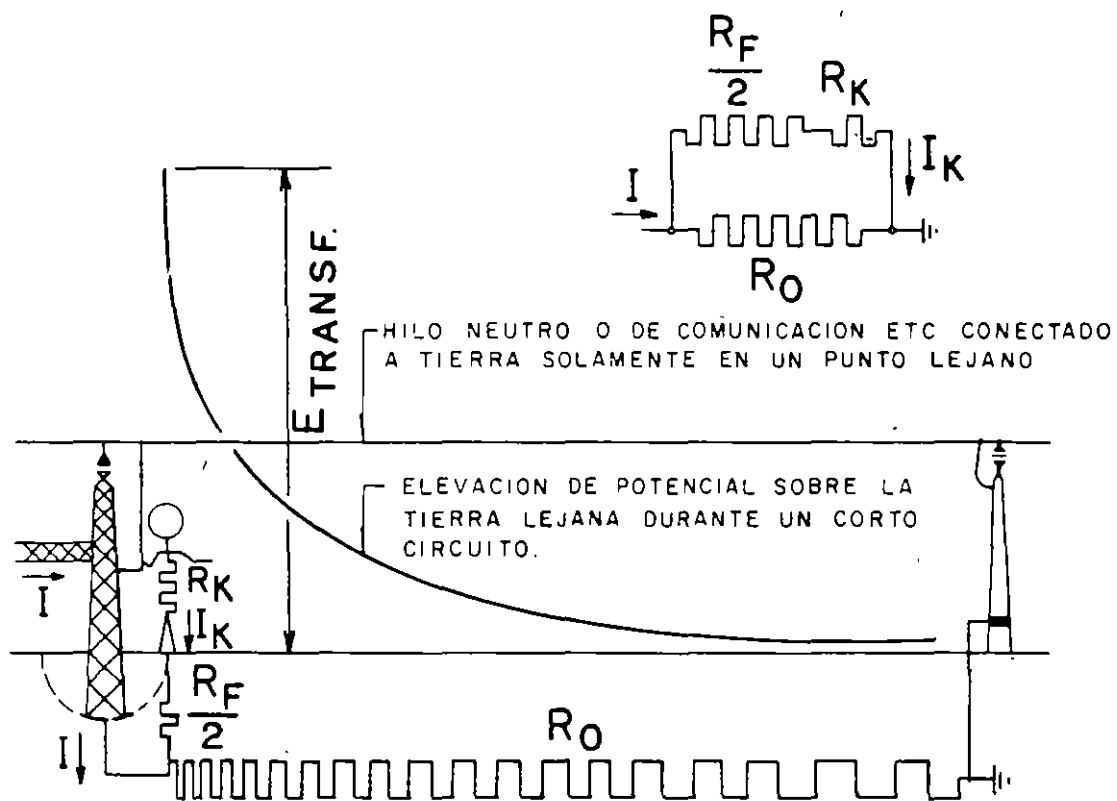
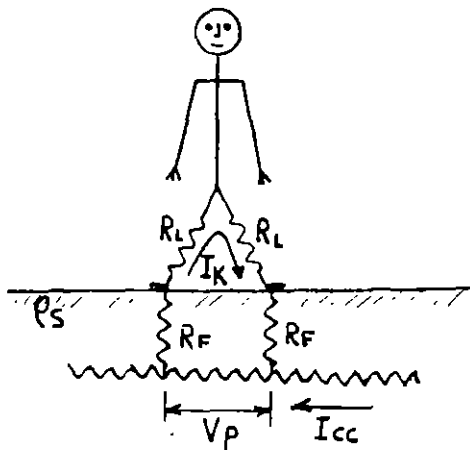


FIG 5. EJEMPLO DEL PELIGRO LIBRADO A POTENCIALES TRANSFERIDOS

FIG. 5

TENSION DE PASO



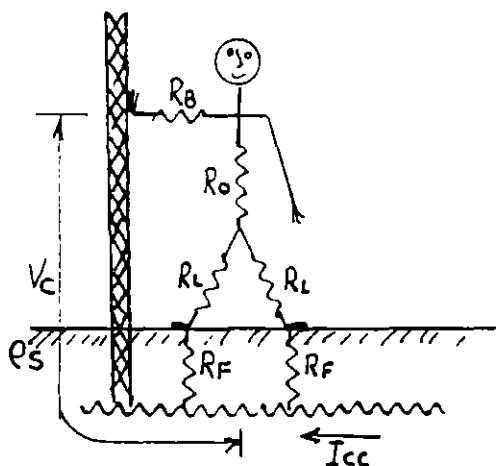
$$V_P = (2R_L + 2R_F) \times I_K$$

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

$$2R_L \approx R_K = 1000 \, \Omega$$

$$2R_F = 6 P_S$$

TENSION DE CONTACTO



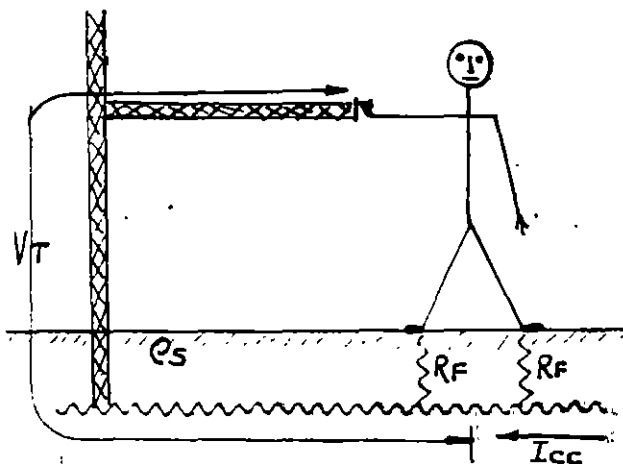
$$V_C = (R_B + R_O + \frac{1}{2} R_L + \frac{1}{2} R_F) I_K$$

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

$$(R_B + R_O + \frac{1}{2} R_L) \approx R_K = 1000 \, \Omega$$

$$\frac{1}{2} R_F = 1.5 P_S$$

TENSION DE TRANSFERENCIA

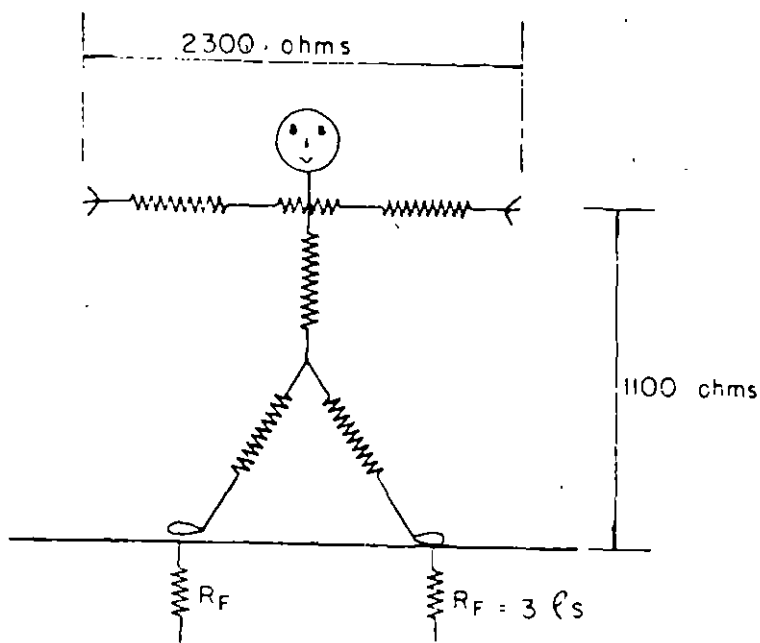


• SE DEBEN EVITAR ESTAS CONDICIONES

• TRATAMIENTO ESPECIAL

- AISLAR PARTES PELIGROSAS
- NORMAS DE SEGURIDAD
- INDICACIONES.

RESISTENCIA DEL CUERPO HUMANO



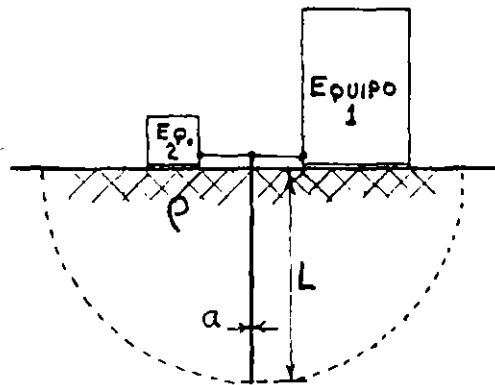
$R_K = 1000 \text{ ohms}$
$R_{\text{UN PASO}} = 6 \text{ } \ell s$
$R_{\text{PARADO}} = 1.5 \text{ } \ell s$

$$V_P = \frac{116 + 0.7 \ell s}{\sqrt{t}} ;$$

$$V_C = \frac{116 + 0.17 \ell s}{\sqrt{t}}$$

DISPOSICIONES BASICAS DE LAS REDES DE TIERRAS

I. RADIAL



- ECONOMICO
- GRADIENTES DE POTENCIAL ELEVADOS
- APLICABLE SOLAMENTE PARA BAJAS CORRIENTES DE TIERRA.

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

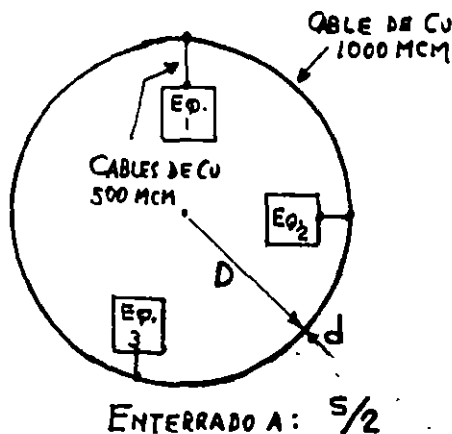
DOS ELECTRODOS

$\left\{ \begin{array}{l} S > L \\ S < L \end{array} \right.$

$$R_T = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^3} + \frac{2L^4}{5S^4} + \dots \right)$$

$$R_T = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} + \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} + \dots \right)$$

II. ANILLO

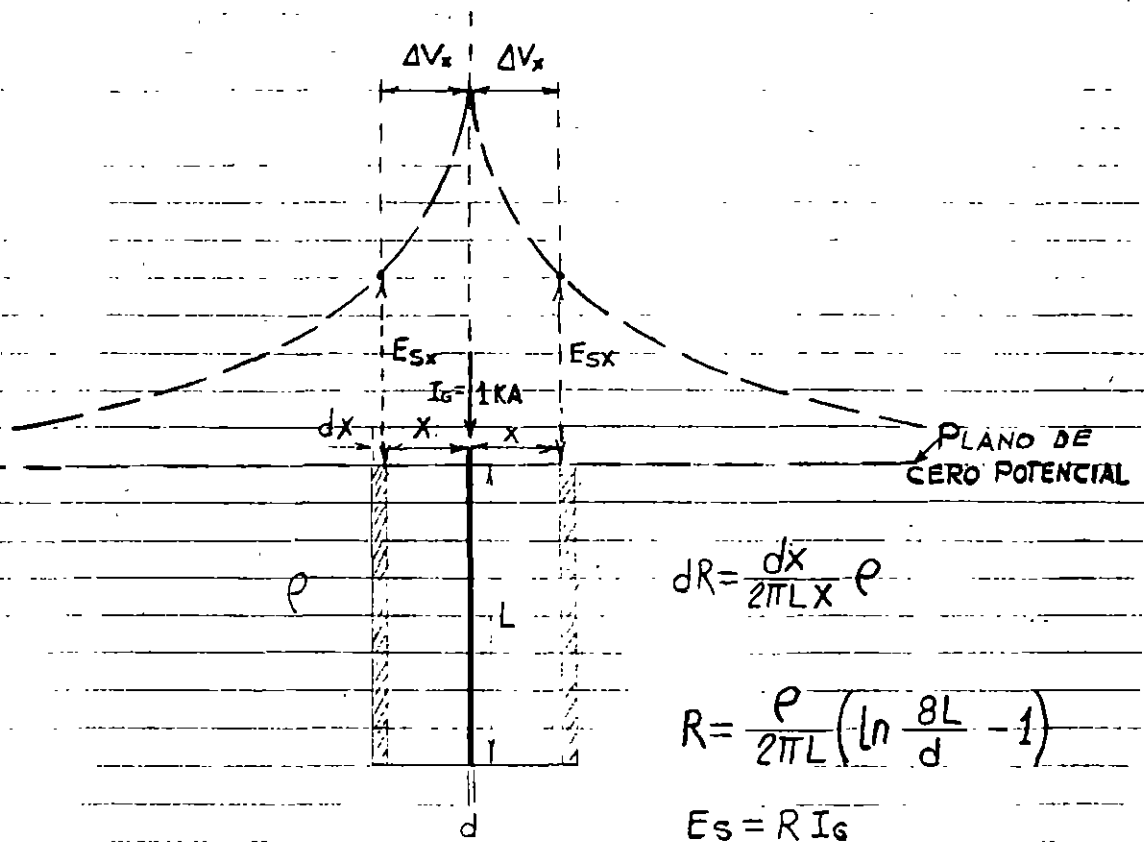


- ECONOMICO
- GRADIENTES DE POTENCIAL MODERADOS
- APLICABLE PARA CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO BAJAS.

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{S} \right)$$

III. MALLA

- RECOMENDADO PARA TODOS LOS CASOS.



$$dR = \frac{dx}{2\pi L x} \rho$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right)$$

$$E_s = R I_g$$

PARA TERRENO HUMEDO: $\rho = 6500 \Omega\text{-cm}$

$L = 8 \text{ pies } (244 \text{ cm})$

$d = 3/4'' \text{ } (1.9 \text{ cm})$

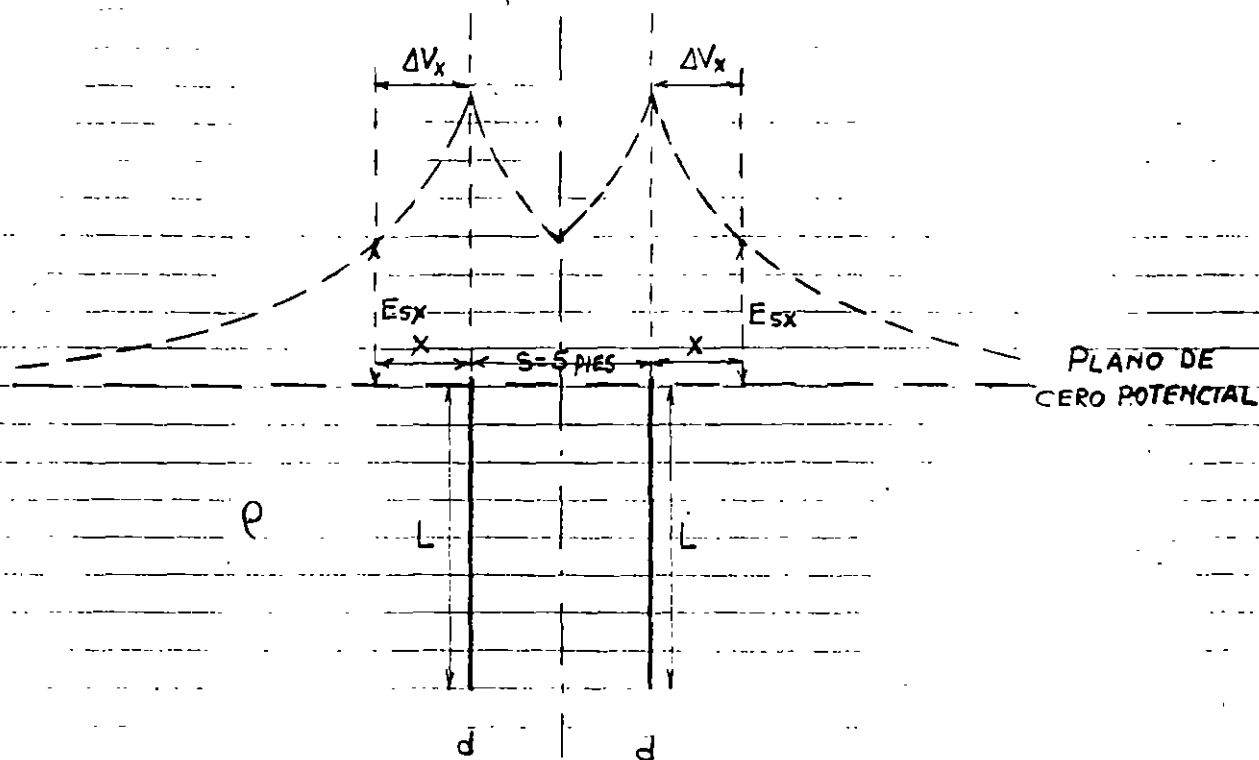
$$R = \frac{6500}{2\pi \times 244} \left(\ln \frac{8 \times 244}{1.9} - 1 \right) = 25 \Omega$$

PARA $x=0$ $E_{s0} = 25 \times 1 = 25 \text{ KV}$

PARA $2x = 5 \text{ pies } (152 \text{ cm})$ $R \approx \frac{1}{2} 25 = 12.5 \Omega$

$E_{s5} = 12.5 \times 1 = 12.5 \text{ KV}$

$$\Delta V_s = 25 - 12.5 = 12.5 \text{ KV}$$



PARA $S < L$

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots \right)$$

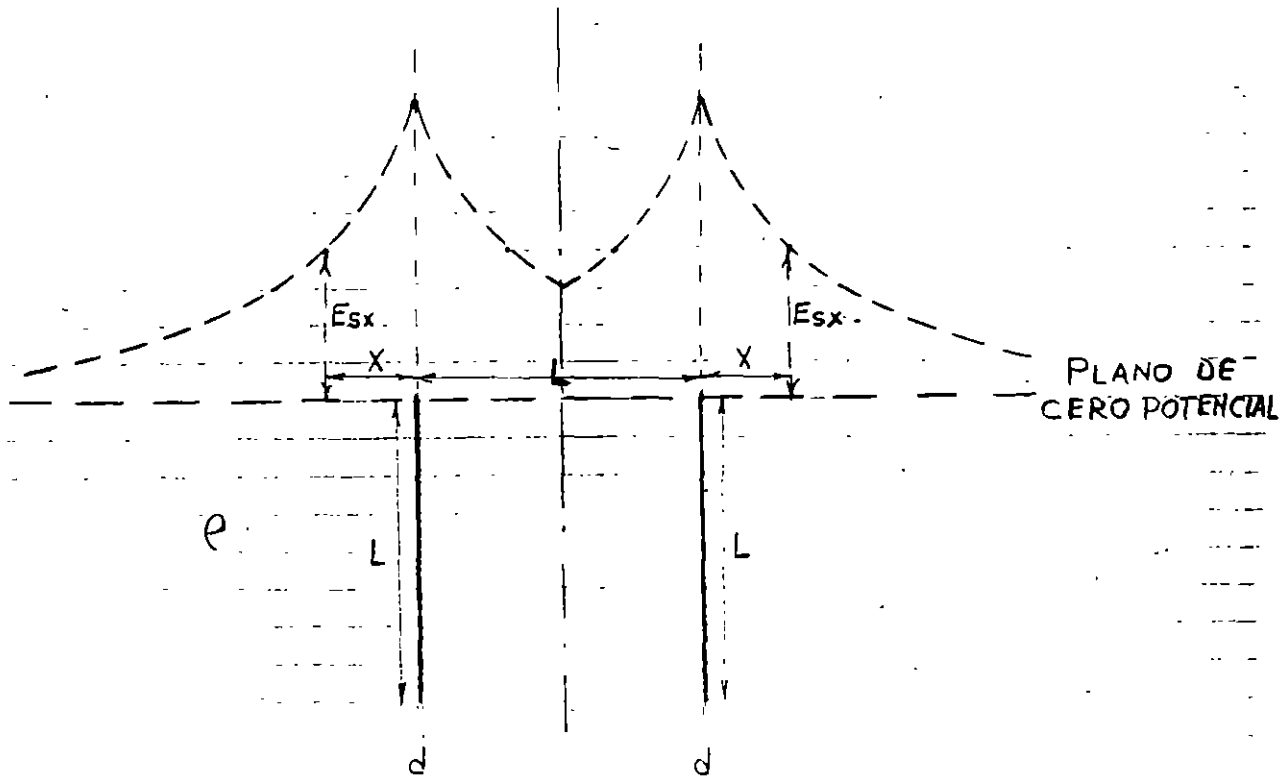
$$S = 152 \text{ cm}, L = 244 \text{ cm}, d = 1.9 \text{ cm}, \rho = 6500 \text{ } \Omega\text{-cm.}$$

$$\underline{R = 15.10 \text{ } \Omega}$$

$$E_{s0} = 15.10 \times 1 = 15.10 \text{ KV}$$

$$E_{s5} = 7.55 \times 1 = 7.55 \text{ KV}$$

$$\underline{\underline{\Delta V_s = 15.10 - 7.55 = 7.55 \text{ KV}}}$$



RESOLVIENDO CON ECUACION PARA $S < L$

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots \right)$$

$$S = 244 \text{ cm}, L = 244 \text{ cm}, d = 1.9 \text{ cm}, \rho = 6500 \text{ } \Omega\text{-cm}$$

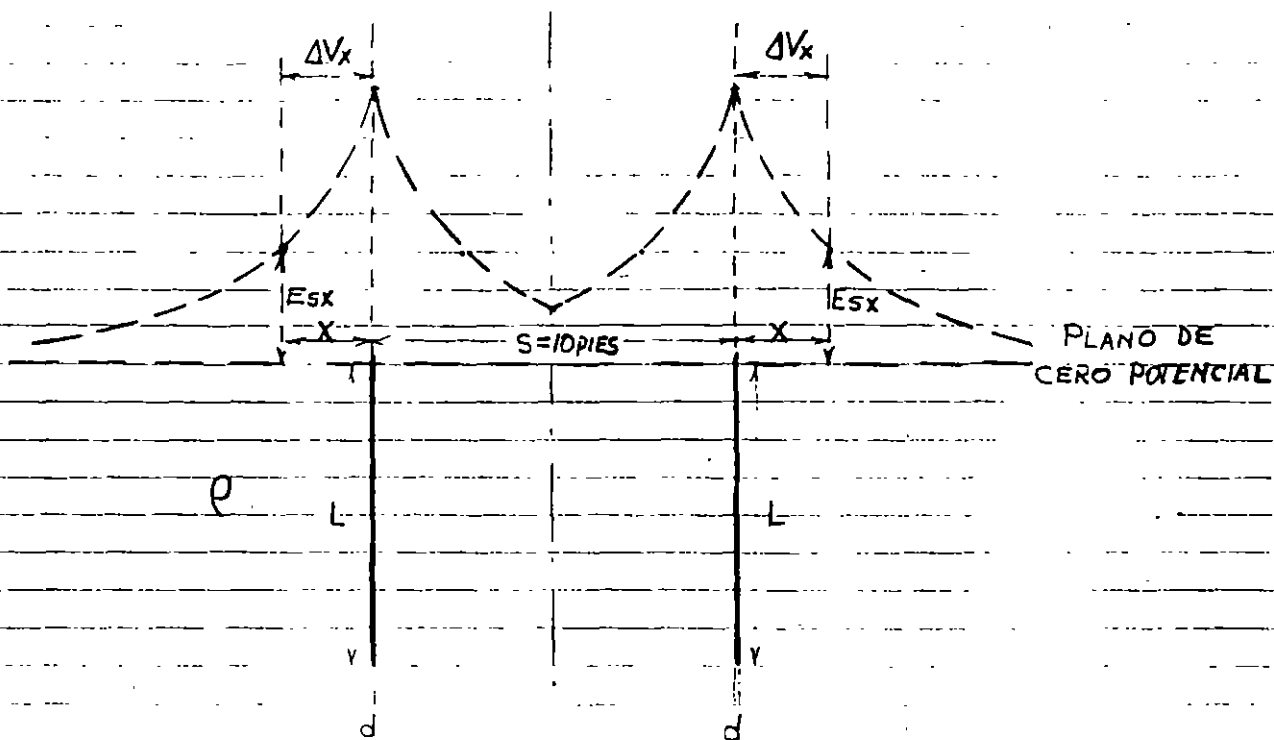
$$R = 14.59 \text{ } \Omega$$

RESOLVIENDO CON ECUACION PARA $S > L$

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^3} + \frac{2L^4}{5S^4} \dots \right)$$

$$S = 244 \text{ cm}, L = 244 \text{ cm}, d = 1.9 \text{ cm}, \rho = 6500 \text{ } \Omega\text{-cm}$$

$$R = 15.47 \text{ } \Omega$$



PARA $S > L$

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^3} + \frac{2L^4}{5S^4} \dots \right)$$

$$S = 304.8 \text{ cm}, L = 244 \text{ cm}, d = 1.9 \text{ cm}, \rho = 6500 \Omega \cdot \text{cm}.$$

$$R = 14.46 \Omega$$

$$E_{so} = 14.46 \times 1 = 14.46 \text{ KV}$$

$$E_{ss} = 7.23 \times 1 = 7.23 \text{ KV}$$

$$\Delta V_s = 14.46 - 7.23 = 7.23 \text{ KV}$$

Table 10
Formulas for Calculation of Resistances to Ground*†

	Hemisphere radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	One ground rod length L , radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• •	Two ground rods $s > L$, spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^3} + \frac{2L^4}{5s^4} \right)$
• •	Two ground rods $s < L$, spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$
—	Buried horizontal wire length $2L$, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$
L	Right-angle turn of wire length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2116 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^4}{L^4} - 0.0421 \frac{s^4}{L^4} \right)$
	Three-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^4}{L^4} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \right)$
+	Four-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.615 \frac{s^4}{L^4} - 0.115 \frac{s^4}{L^4} \right)$
*	Six-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 5.851 - 1.124 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^4}{L^4} - 0.190 \frac{s^4}{L^4} \right)$
* *	Eight-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^4}{L^4} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \right)$
○	Ring of wire diameter of ring D , diameter of wire d , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	Buried horizontal strip length $2L$, section a by b , depth $s/2$, $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - 3ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$
	Buried horizontal round plate radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \right)$
	Buried vertical round plate radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \right)$

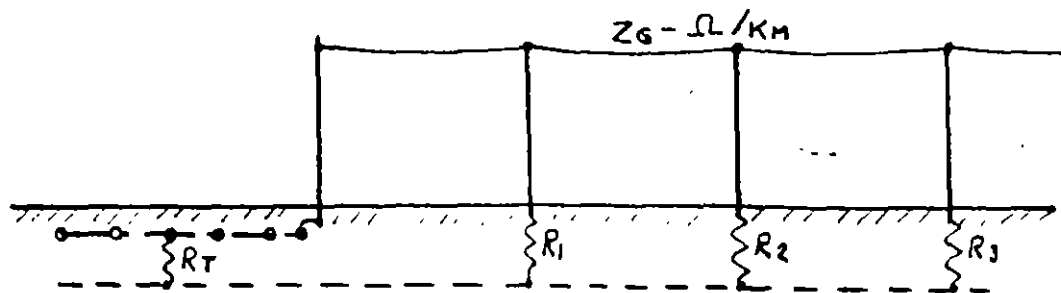
*See Ref. 1.

†Approximate formulas including effects of images. Dimensions must be in centimeters to give resistance in ohms.

 ρ = resistivity of earth in ohms per cm³ (MΩ/m³)

FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO

I. EFECTO DEL HILO DE GUARDA.



$$R_T = \frac{\rho}{4f} + \frac{\rho}{L}$$

$$Z_s = \sqrt{Z_G \cdot R_G}$$

$$R_T' = \frac{R_T Z_s}{R_T + Z_s}$$

$$\frac{1}{R_G} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad n = \text{TORRES/KM.}$$

II. CARACTERISTICAS DEL TERRENO

VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO	
TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD OHM-M
AGUA DE MAR	1
TIERRA ORGANICA HUMEDA	10
SUELO HUMEDO	10^2
SUELO SECO	10^3
CONCRETO	10^3
CAMA ROCOSA	10^4
GRANITO	10^7
ROCA ARENISCA	10^8

III. CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO (AT-BT)

- FACTOR DE ASIMETRIA
- FACTOR DE CRECIMIENTO
- EFECTO DE LA RESISTENCIA DE TIERRA EN EL SISTEMA.

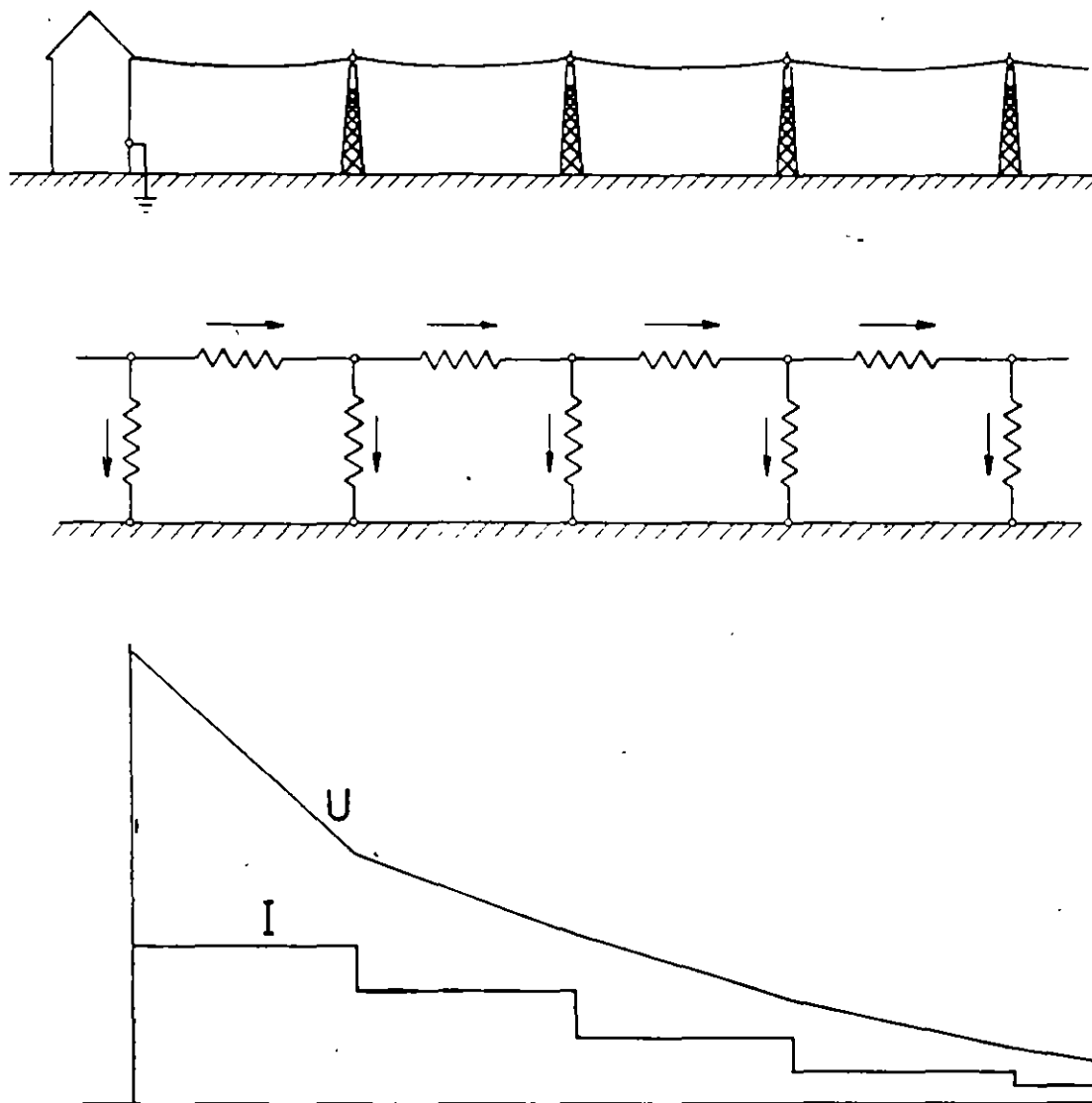
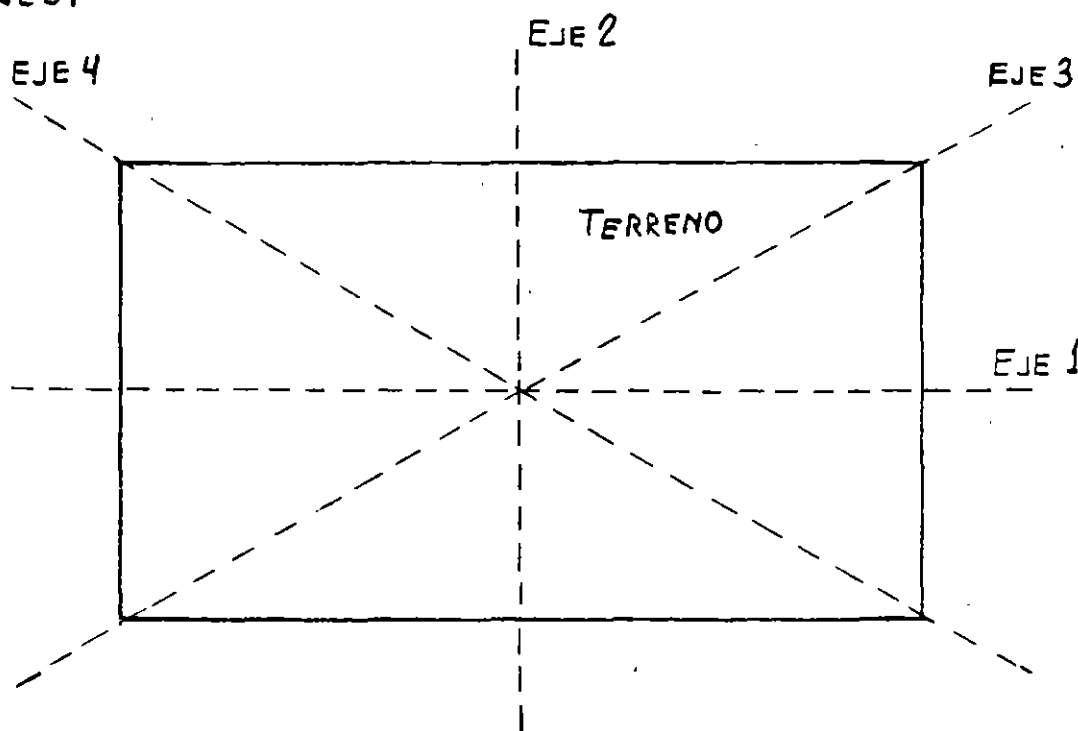


FIG 8. FLUJO DE CORRIENTE DE TIERRA POR UN HILO DE GUARDA.

FIG. 8

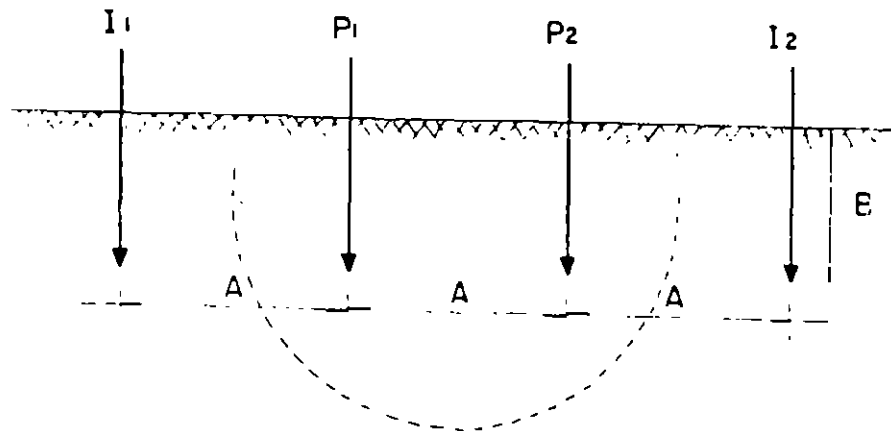
MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

- DE PREFERENCIA REALIZAR LAS MEDICIONES EN LA TEMPORADA DE ESTIAJE.
- EL TERRENO A MEDIR DEBERA DIVIDIRSE EN CUATRO EJES.



- EN CADA UNO DE ESTOS EJES, SE TOMARAN MEDICIONES, INICIANDO CON UNA SEPARACION DE ELECTRODOS $a=1m$. HASTA COBRIR TODO EL TERRENO.
- SE CALCULA LA RESISTIVIDAD DE CADA CONDICION MEDIDA CON LA ECUACION DE WENNER.
- SI SE JUSTIFICA, CALCULAR LA RESISTIVIDAD DE LOS ESTRATOS.
- LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO ES EL VALOR PROMEDIO DE LA RESISTIVIDAD ENCONTRADA EN LOS CUATRO EJES.

LECTURAS DE RESISTIVIDAD



FORMULA CON LA QUE SE CALCULO LA RESISTIVIDAD .

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

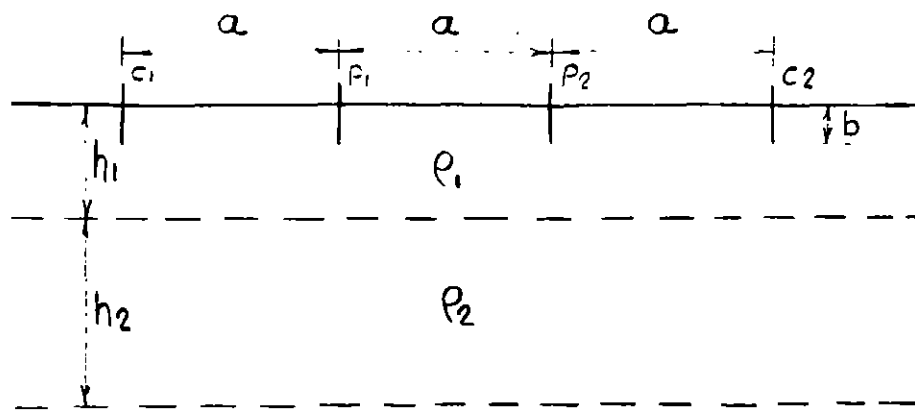
LEVANTAMIENTO DE RESISTIVIDAD EN LA PLANTA DEL EJEMPLO

(VER PLANO ADJUNTO PARA UBICACION DE LA LECTURA)

SEPARACION A (m)	PROFUNDIDAD "B" (cm)	LECTURAS Nº 1		LECTURAS Nº 2		LECTURAS Nº 3		LECTURAS Nº 4	
		R (Ω)	ρ (Ω -m)	R (Ω)	ρ (Ω -m)	R (Ω)	ρ (Ω -m)	R (Ω)	ρ (Ω -m)
1.0	0.25	1 6	1105	2 4	16 58	2 2	15.73	2 2	15.73
1.5	0.25	0 8	7 89	1 3	12.82	0 89	8.94	1.0	10 0
2.0	0 25	0.6	7 74	0 77	9 93	0.6	7.82	0.65	8 47
2.5	0 25	0 5	7989	0 48	7 66	0 4	6.438	0 45	7 24
3.0	0 25	0 4	7 63	0 38	7 24	0 27	5.32	0.33	6.32

23

RESISTIVIDAD DE TERRENO CON DOS CAPAS.



$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}}}$$

ρ_a - RESISTIVIDAD CALCULADA CON EL METODO DE WENNER A LA DISTANCIA a

a - SEPARACION DE ELECTRODOS

b - PROFUNDIDAD DE ENTERRADO DE LOS ELECTRODOS

R - RESISTENCIA MEDIDA ENTRE LOS ELECTRODOS.

h_1 - PROFUNDIDAD DEL PRIMER ESTRATO

h_2 - PROFUNDIDAD DEL SEGUNDO ESTRATO

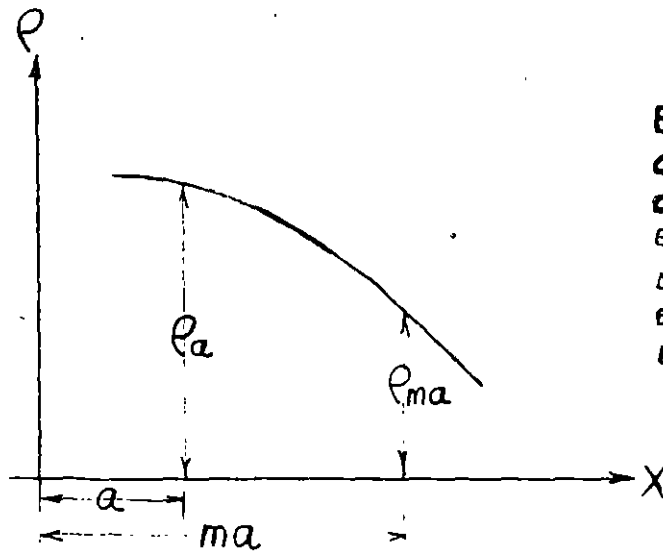
$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

METODO DE SUNDE.

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \frac{2nh}{a}}} \right\} = F_a$$

HACIENDO MEDICIONES A LA DISTANCIA m_a SE OBTIENE:

ρ_{m_a} - RESISTIVIDAD CALCULADA CON EL METODO DE WENNER A LA DISTANCIA m_a



EN TERRENOS CON DOS CAPAS LA RESISTIVIDAD VARIA CON LA SEPARACION DE LOS ELECTRODOS DEBIDO AL CAMBIO DE LAS PROPORCIONES DE LOS ESTRATOS INVOLUCRADOS EN LA MEDICION.

PARA LA DISTANCIA m_a TAMBIEN SE CUMPLE:

$$\frac{\rho_{ma}}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh}{ma}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(\frac{2nh}{ma}\right)^2}} \right\} = F_{ma}$$

$$\frac{F_{ma}}{F_a} = \frac{\rho_{ma}}{\rho_a}$$

OBSERVAMOS QUE:

SI $\frac{\rho_{ma}}{\rho_a} < 1$ $\rho_2 < \rho_1$ Y K ES NEGATIVO

$\frac{\rho_{ma}}{\rho_a} > 1$ $\rho_2 > \rho_1$ Y K ES POSITIVO

EL PROBLEMA SE RESUELVE HACIENDO MEDICIONES REPRESENTATIVAS CONSIDERANDO TRES CONDICIONES. (ρ_a, a) , (ρ_{ma}, m_a) Y (ρ_{m_2a}, m_2a) .

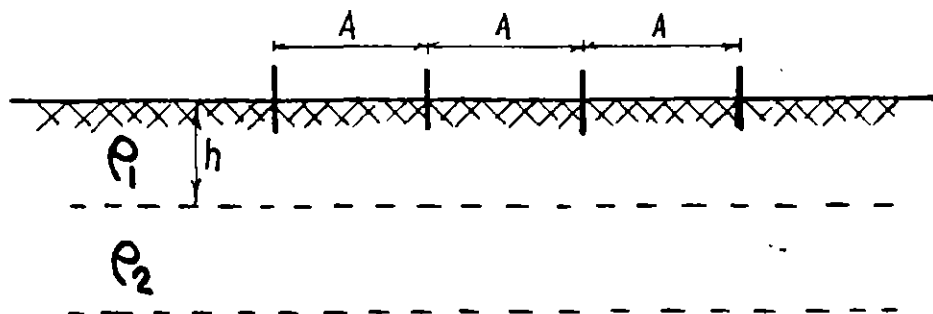
SE PLANTEAN ENTONCES DOS ECUACIONES

$$\frac{\rho_{ma}}{\rho_a} = \frac{F_{ma}}{F_a}$$

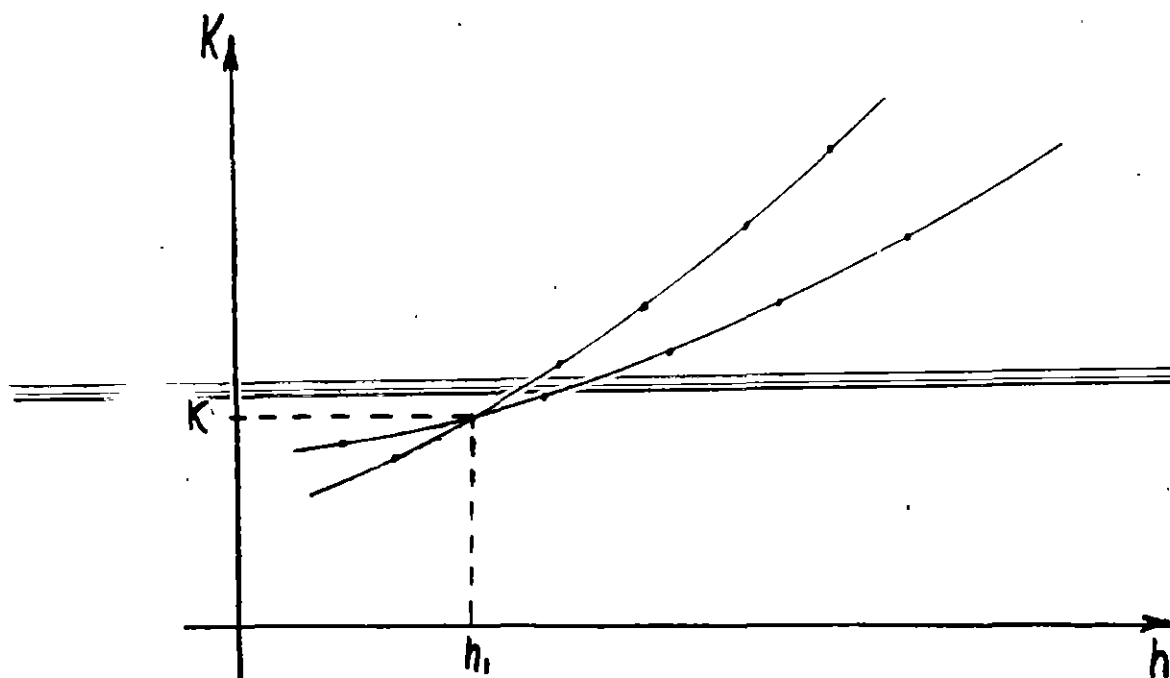
$$\frac{\rho_{m_2a}}{\rho_a} = \frac{F_{m_2a}}{F_a}$$

DE CUYA SOLUCION SE ENCUENTRAN LOS VALORES DE K Y h_1 . SUSTITUYENDOLOS EN LA ECUACION F_a SE OBTIENE ρ_1 Y CON K CONOCIDO SE OBTIENE ρ_2 .

CALCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO CON DOS CAPAS



$$\frac{\rho_{mA}}{\rho_A} = \frac{1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh}{mA}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{4 + \left(\frac{2nh}{mA}\right)^2}} \right\}}{1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^n \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh}{A}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{4 + \left(\frac{2nh}{A}\right)^2}} \right\}}$$

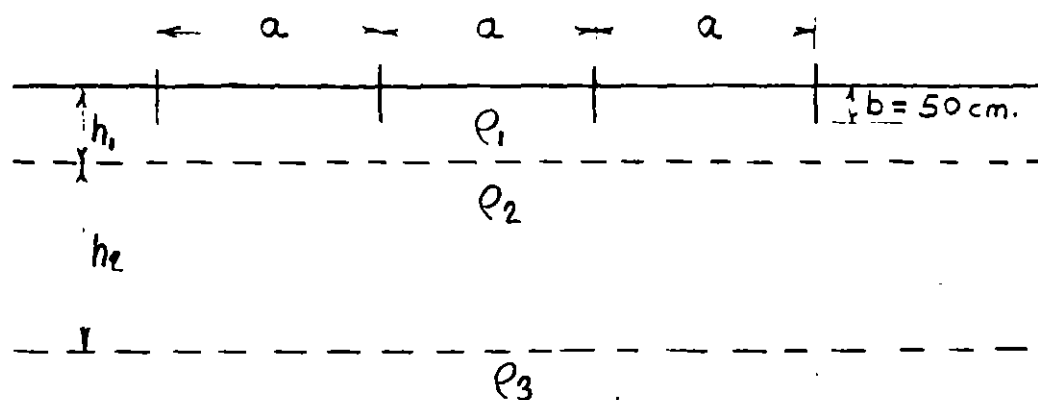


$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

EJEMPLO.

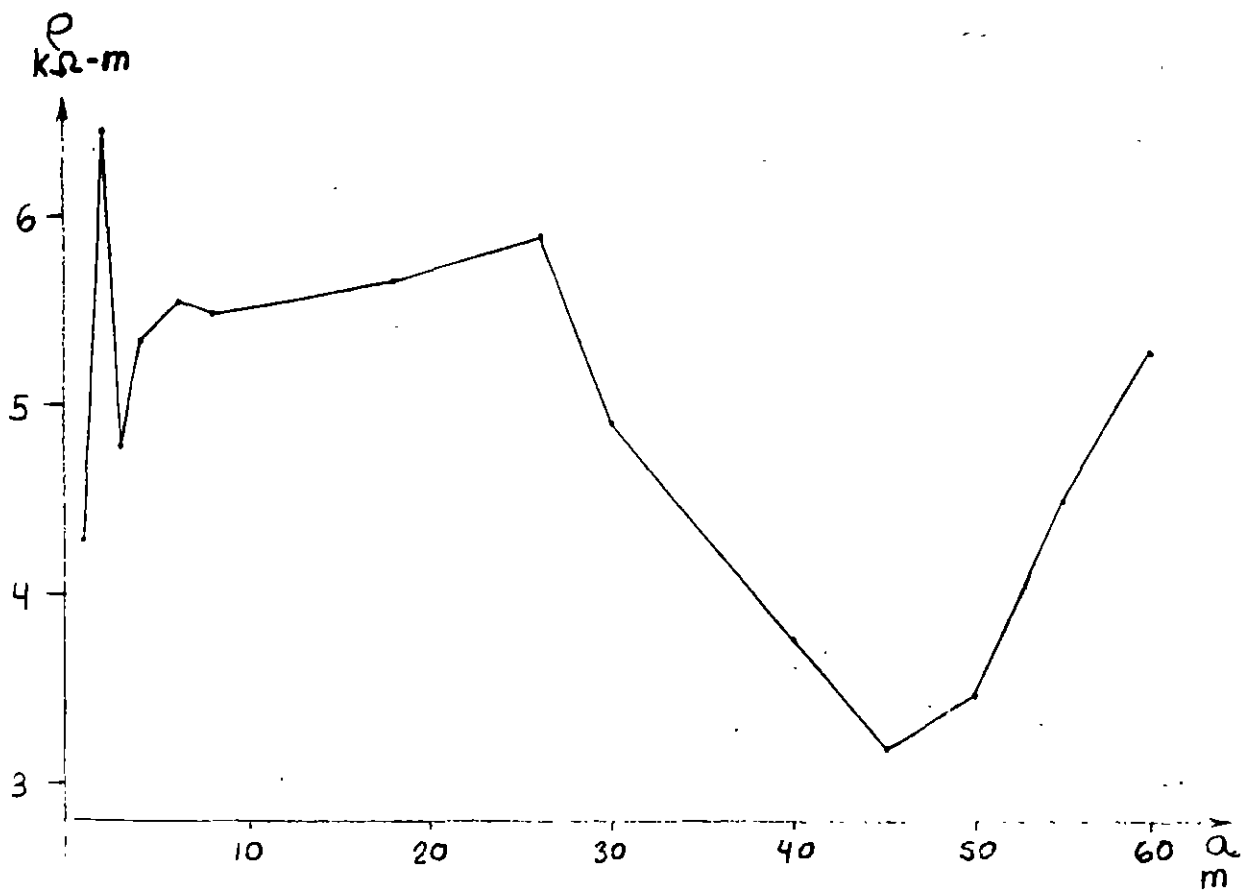
MEDICIONES DE RESISTIVIDAD EN TERRENO DE DOS CAPAS.

TERRENO CON LAVA VOLCANICA EN C.U. AL N.E. DE EDIFICIO CO. JYT.



A. DETERMINACION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

a m	R ohms	ρ_a ohm-m.
1	0.1×10^4	4283
2	0.058×10^4	6433
3	0.27×10^3	4797
4	0.22×10^3	5344
6	0.15×10^3	5568
8	0.11×10^3	5481
18	0.50×10^2	5645
26	0.36×10^2	5876
30	0.26×10^2	4898
40	0.15×10^2	3768
45	0.12×10^2	3392
50	0.11×10^2	3455
55	0.13×10^2	4492
60	0.14×10^2	5277



LAS TENDENCIAS DE LA GRAFICA NOS INDICAN LA PRESENCIA DE TRES ESTRATOS.

B. SOLUCION PARA LOS ESTRATOS SUPERFICIALES:

$$\alpha = 1, \quad \rho_a = 4283$$

$$m = 4$$

$$m\alpha = 4, \quad \rho_{ma} = 5344$$

$$\therefore \frac{\rho_{ma}}{\rho_a} = 1.25 = \frac{F_{ma}}{F_a} \quad (18)$$

$\rho_2 > \rho_1$ y K ES POSITIVO

RESOLVIENDO LA ECUACION (18) PARA $n=1$ HASTA 6 PARA DIFERENTES VALORES DE h Y K SE OBTIENE:

$\frac{\rho_{ma}}{\rho_a}$	h	K
1.25	0.50	0.254
1.25	0.75	0.197
1.25	1.00	0.183
1.25	1.25	0.186
1.25	1.50	0.198

DATOS PARA LA CURVA (18)

$$\begin{aligned} a &= 1, & \rho_a &= 4283 \\ m &= 6, & \\ m_a &= 6, & \rho_{ma} &= 5568 \end{aligned}$$

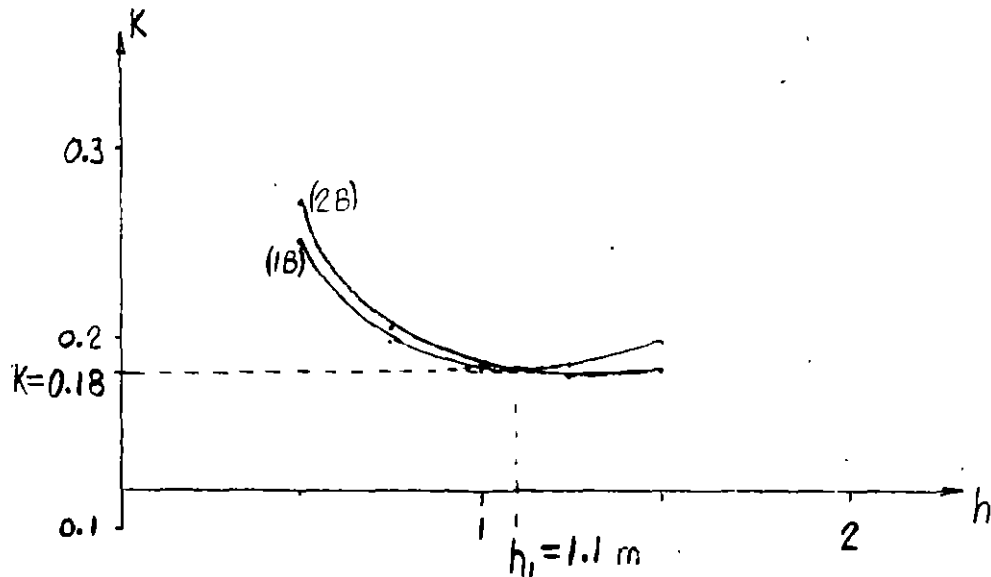
$$\therefore \frac{\rho_{ma}}{\rho_a} = 1.30 = \frac{F_{ma}}{F_a} \quad (28)$$

$\rho_2 > \rho_1$ y K ES POSITIVO.

RESOLVIENDO LA ECUACION (28) PARA $n=1$ HASTA 6 PARA DIFERENTES VALORES DE h Y K SE OBTIENE:

$\frac{\rho_{ma}}{\rho_a}$	h	K
1.30	0.50	0.273
1.30	0.75	0.205
1.30	1.00	0.185
1.30	1.25	0.180
1.30	1.50	0.183

DATOS PARA LA CURVA (28)



SUBSTITUYENDO EN LA ECUACION F_a :

$K=0.18$, $h=1.1$ y $\rho_a=4283$ CON $n=1$ HASTA 6

SE OBTIENE $\rho_1 = 4086 \text{ ohm-m}$.

$$K = 0.18 = \frac{\rho_2 - 4086}{\rho_2 + 4086}$$

$$\therefore \rho_2 = 5880 \text{ ohm-m}$$

2 ESTRATOS DEL
TERRENO

TIERRA ORGANICA
CON ROCA VOLCANICA
TRITURADA.

$h_1 = 1.1 \text{ m}$, $\rho_1 = 4086 \Omega\text{-m}$

ROCA VOLCANICA

$\rho_2 = 5880 \Omega\text{-m}$

SUPERFICIE

C. SOLUCION PARA EL TERCER ESTRATO PROFUNDO.

$$\begin{aligned} a &= 8, & P_a &= 5481 \\ m &= 5, & P_{ma} &= 3768 \\ m_a &= 40 \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{P_{ma}}{P_a} = 0.69 = \frac{F_{ma}}{F_a} \quad (1c)$$

$P_3 < P_{12}$ y K ES NEGATIVO

RESOLVIENDO LA ECUACION (1c) PARA $n=1$ HASTA 6 PARA DIFERENTES VALORES DE h y K SE OBTIENE:

$\frac{P_{ma}}{P_a}$	h	K
0.69	10	-0.25
0.69	20	-0.35
0.69	30	-0.58
0.69	35	-0.75
0.69	40	-0.93

DATOS PARA LA CURVA (1c)

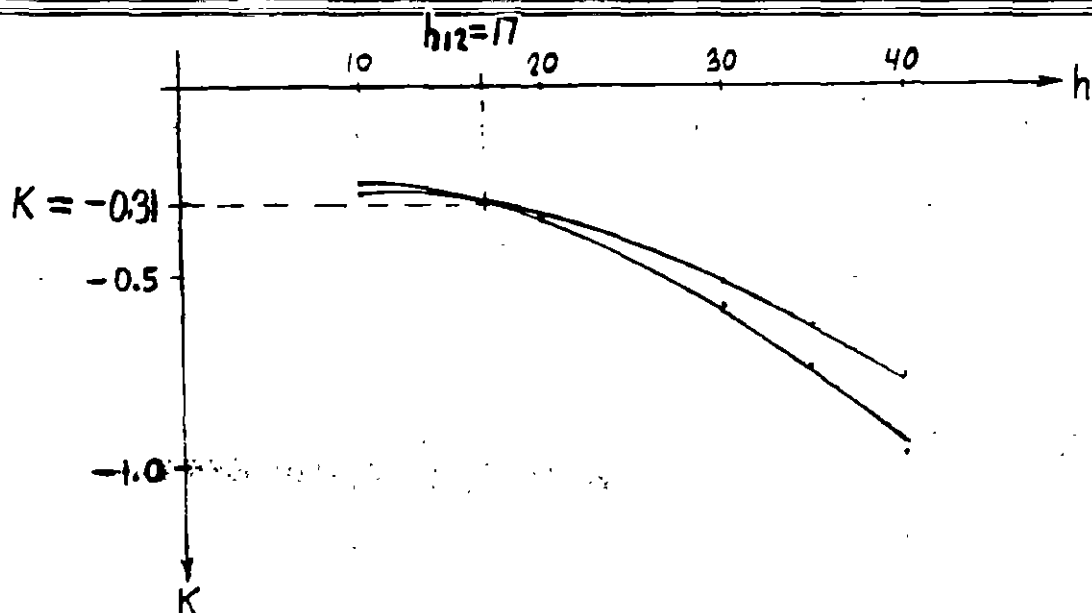
$$\begin{aligned} a &= 8, & P_a &= 5481 \\ m &= 6.25, & P_{ma} &= 3455 \\ m_a &= 50 \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{P_{ma}}{P_a} = 0.63 = \frac{F_{ma}}{F_a} \quad (2c)$$

RESOLVIENDO LA ECUACION (2c) PARA $n=1$ HASTA 6 PARA DIFERENTES VALORES DE h y K SE OBTIENE:

$\frac{P_{ma}}{P_a}$	h	K
0.63	10	-0.28
0.63	20	-0.34
0.63	30	-0.51
0.63	35	-0.64
0.63	40	-0.78

DATOS PARA LA CURVA (2c)



SUBSTITUYENDO EN LA ECUACION F_a :

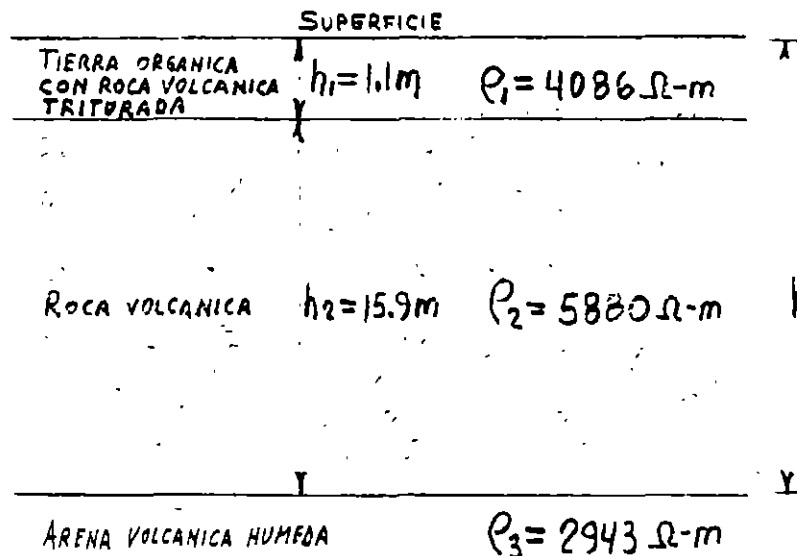
$K = -0.31$, $h = 17$ y $\rho_a = 5481$ con $n = 1$ HASTA 6

SE OBTIENE $\rho_{12} = 5588 \text{ ohm-m}$.

$$K = -0.31 = \frac{\rho_3 - \rho_{12}}{\rho_3 + \rho_{12}} = \frac{\rho_3 - 5588}{\rho_3 + 5588}$$

$$\therefore \rho_3 = 2943 \text{ ohm-m}$$

3 ESTRATOS DEL
TERRENO



$$\rho_{12} = 5588 \Omega\text{-m}$$

$$h_{12} = 17m$$

TRATAMIENTO DEL TERRENO

I - SALES MINERALES

CLORURO DE SODIO

SULFATO DE MAGNESIO

SULFATO DE COBRE

II - MINERALES

CARBON

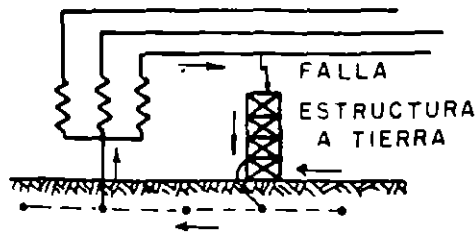
GRAFITO EN POLVO

III - PRODUCTOS COMERCIALES

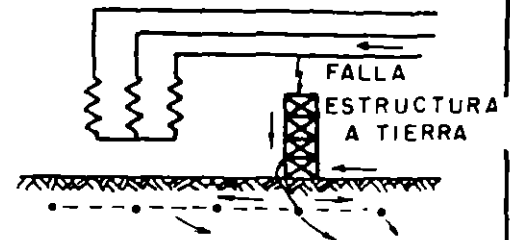
BENTONITA

SOLUCIONES PRECIPITABLES

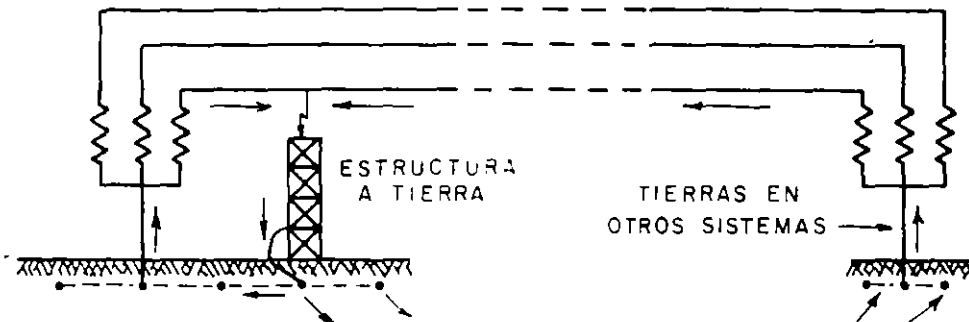
MASAS GELATINOSAS



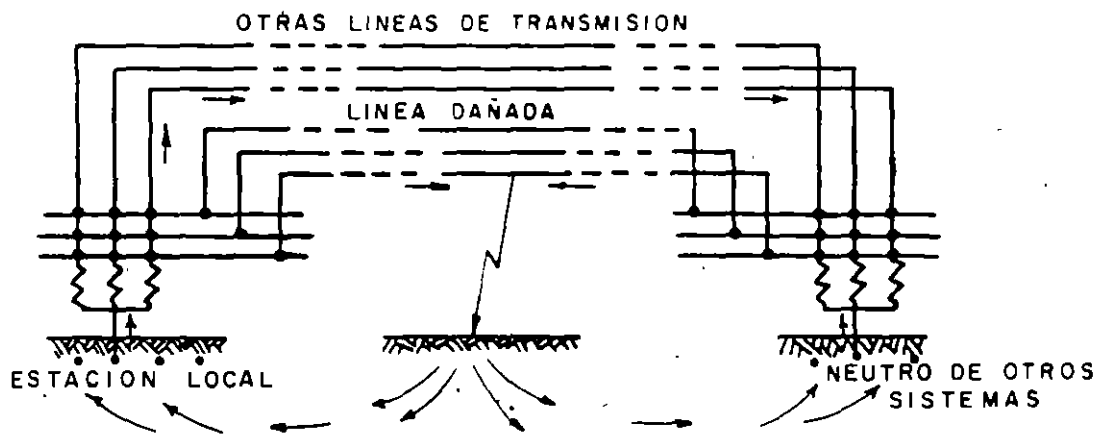
CASO 1 - FALLA DENTRO DEL LOCAL DE LA ESTACION SISTEMA DE TIERRAS LOCAL SOLAMENTE LA CORRIENTE DE FALLA SIGUE EL CAMINO METALICO SUMINISTRADO POR LA RED DE TIERRAS NINGUNA CORRIENTE APRECIABLE FLUYE EN LA TIERRA



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



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



CASO 4 - FALLA EN LA LINEA FUERA DE LA ESTACION SISTEMA A TIERRA LOCALMENTE Y EN OTROS PUNTOS PARTE DE LA CORRIENTE REGRESA DE LA TIERRA AL SISTEMA DE TIERRAS LOCAL Y DETERMINA EL AUMENTO DE POTENCIAL Y GRADIENTES ALLI. FIG. 6. CASOS 1, 2 Y 3 MUESTRAN FALLAS DENTRO DEL LOCAL DE LA ESTACION EL CASO 4 MUESTRA UNA FALLA EXTERNA EN LA LINEA.

FIG. 7

ANALISIS DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

SISTEMA

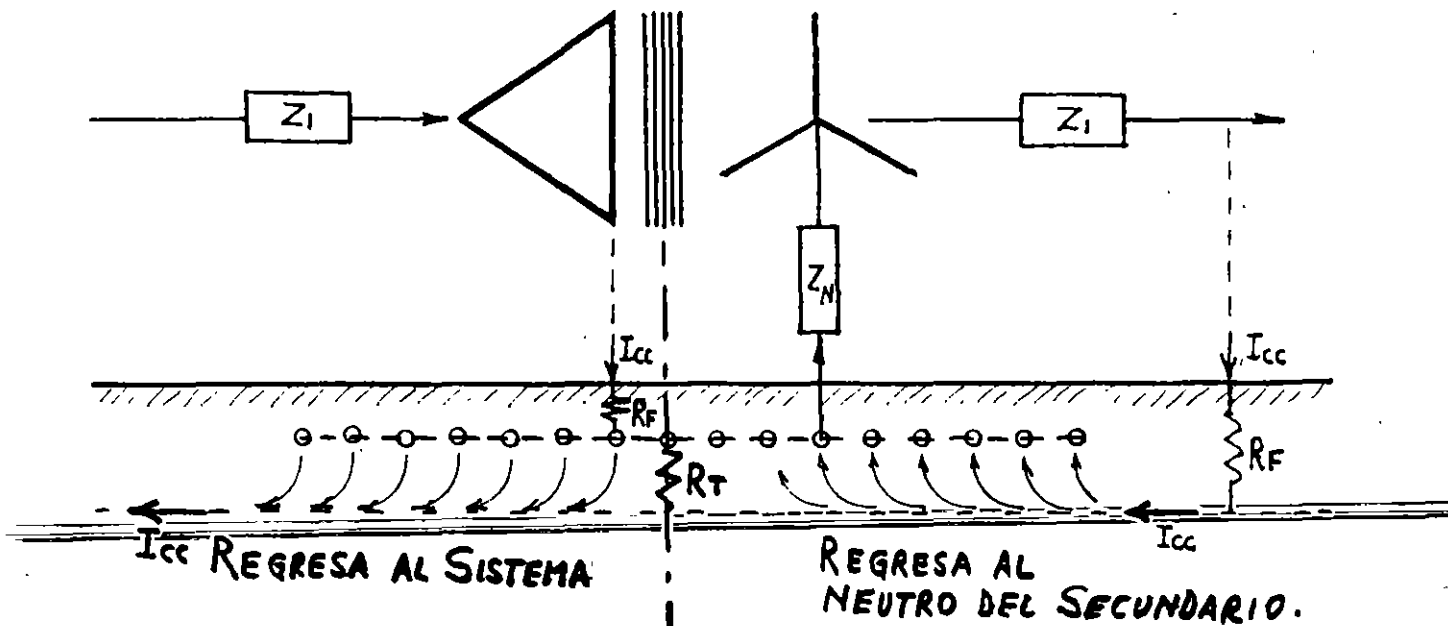
$$0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3; 0 \leq \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

$$Z_1 = \frac{KV_{LL}^2}{MVA_{cc}} \approx Z_2$$

CARGA

$$\frac{I_{cc}}{3\phi} = 1000 \frac{KV_{LL}}{\sqrt{3} Z_1}$$

$$I_{cc} = \frac{3E}{\frac{\phi}{\pm} X_1 + X_2 + X_0 + 3(R_F + R_T + Z_N)}$$



ELEMENTOS DE LA MALLA DE TIERRA

CONDUCTORES

- SE UTILIZA EL CU POR SU BUENA CONDUCTIVIDAD Y RESISTENCIA A LA CORROSION.
- POR RAZONES MECANICAS EL CALIBRE MINIMO EMPLEADO ES DE 4/0.
- ES RECOMENDABLE SOLDAR TODOS LOS NODOS CON EL SISTEMA "CADWELD".

ELECTRODOS

- EN TERRENOS CON BAJA ACTIVIDAD QUIMICA SE PUEDEN USAR TRAMOS DE 3 M DE TUBO GALVANIZADO DE $\frac{1}{2}$ O $\frac{3}{4}$ " DE DIAMETRO.
- EN TERRENOS CORROSIVOS SE DEBEN USAR VARILLAS DE "COPPERWELD".

CONECTORES Y ACCESORIOS.

- ATORNILLADOS
- PRENSADOS
- SOLDADOS

CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR

- PREVER QUE LOS CONDUCTORES NO SE FUNDAN Y LAS UNIONES ELECTRICAS NO SE DETERIOREN CON LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO
- TENER RESISTENCIA MECANICA (MINIMO 4/0 AWG)
- TENER ALTA CONDUCTIVIDAD (COBRE)

ECUACION DE ONDERDONK

$$I_G = S \sqrt{\frac{\log_{10} \left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}{33 T_G}}$$

I_G - CORRIENTE QUE CIRCULA POR LA RED DE TIERRAS. (AMP)

T_G - TIEMPO DE DURACION DE LA FALLA (SEG.)

S - SECCION MINIMA DEL CONDUCTOR (CIRCULAR-MILLS)

T_a - TEMPERATURA AMBIENTE (40°C)

T_m - TEMPERATURA PERMISIBLE EN LA RED, SIN DETERIORO:

(CABLE - 1083°C , JUNTAS SOLDADAS - 450°C

JUNTAS ATORNILLADAS - 250°C)

$$S = (\text{CM/A}) I_G$$

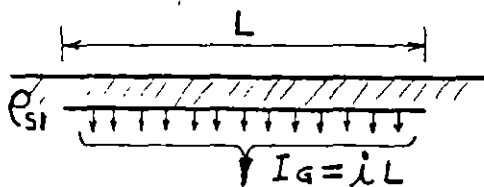
T_G (SEG)	CM/A		
	CABLE (Cu)	TIPO DE CONEXION	
		SOLDADA	ATORNILLADA
30	40	50	65
4	14	20	24
1	7	10	12
0.5	5	6.5	8.5

DISEÑO PRELIMINAR DE LA RED DE TIERRAS

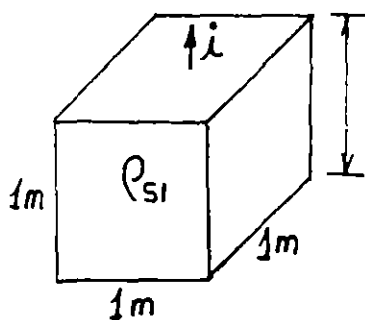
+ LAYOUT.

+ DEFINIR AREA Y RODEARLA CON UN CONDUCTOR.

+ TRAZAR LA MALLA DE TAL MANERA QUE TODOS LOS NEUTROS, EQUIPOS, APARATOS, GABINETES, ESTRUCTURAS ETC. TENGAN UNA CONEXION CORTA.



i - amp/m DE MALLA.



$$V_{MALLA} = \rho_{si} i_m = K_m K_i \rho_{si} \frac{I_G}{L}$$

K_m - COEFICIENTE QUE TOMA EN CUENTA LOS PARAMETROS DE DISEÑO DE LA RED Y SU PORCION ACTIVA ($n-2$)

K_i - FACTOR DE CORRECCION QUE TOMA EN CUENTA LA DISTRIBUCION IRREGULAR DE LA CORRIENTE ($K_i \approx 0.65 + 0.172n$)

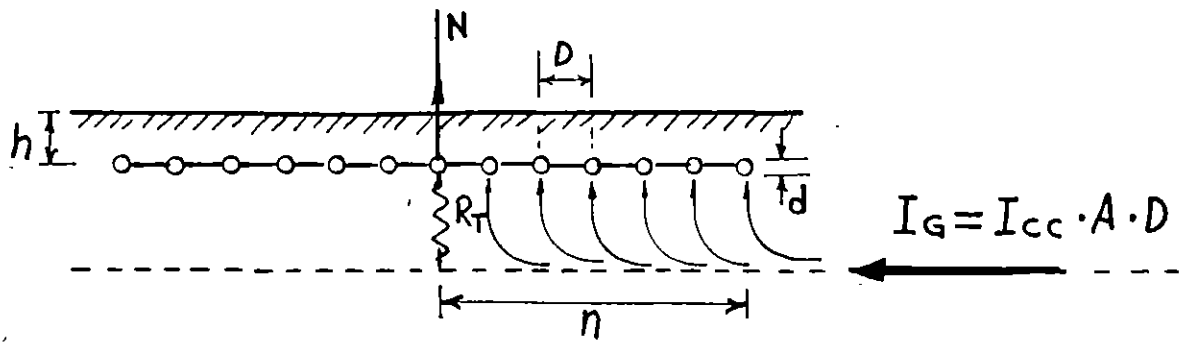
IGUALANDO $V_{MALLA} = V_{CONTACTO}$

$$K_m K_i \rho_{si} \frac{I_G}{L} = \frac{116 + 0.17 \rho_{s2}}{\sqrt{T}}$$

$$L = \frac{K_m K_i \rho_{si} I_G \sqrt{T}}{116 + 0.17 \rho_{s2}}$$

$L \geq$ LONGITUD REAL DE LOS CONDUCTORES ENTERRADOS, TRANSVERSALES LONGITUDINALES Y VARILLAS DE TIERRA. (m).

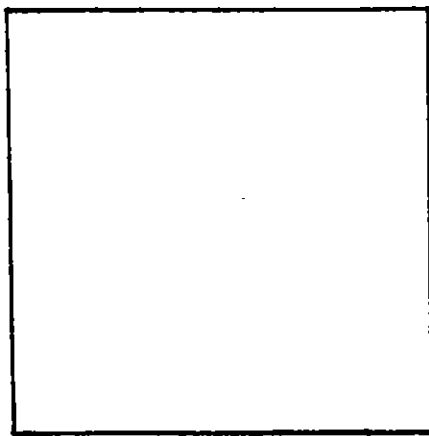
COEFICIENTE K_m



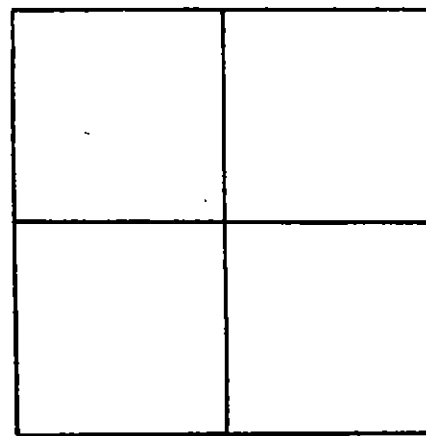
(n-2) TERMINOS.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{9}{10} \cdot \frac{11}{12} \cdot \frac{13}{14} \dots \right)$$

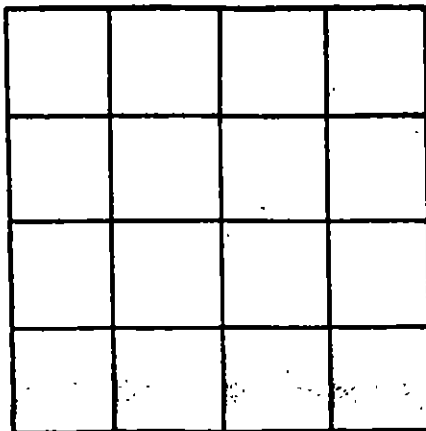
COEFICIENTE $K_i \approx 0.65 + 0.172n$



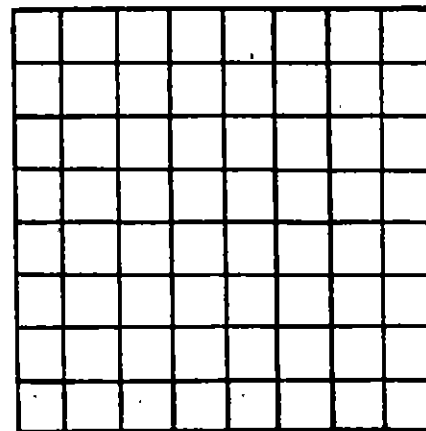
$n=2$
 $\leftarrow K_i=1 \quad I_G$



$n=3$
 $\leftarrow K_i=1.16 \quad I_G$



$n=5$
 $\leftarrow K_i=1.47 \quad I_G$



$n=9$
 $\leftarrow K_i=2.21 \quad I_G$

1.83

MALLA A

1.74	1.74
1.74	1.74

MALLA B

1.73	1.33	1.33	1.73
1.33	1.16	1.16	1.33
1.33	1.16	1.16	1.33
1.73	1.33	1.33	1.73

MALLA C

1.9	1.6	1.4	1.2	1.2	1.4	1.6	1.9
1.6	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.6
1.4	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.4
1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2
1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2
1.4	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.4
1.6	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.6
1.9	1.6	1.4	1.2	1.2	1.4	1.6	1.9

MALLA D

1.00	0.90	0.80	0.80	1.82
0.80	0.70	0.70	0.70	
0.80	0.70	0.60	0.70	
0.80	0.70	0.70	0.70	
2.13				2.23

MALLA E

1.00	0.80	0.80	0.80	1.82
0.80	0.70	0.60	0.70	
0.80	0.60	$\frac{4}{4}$	0.60	
0.80	0.70	0.60	0.70	
2.13				2.23

MALLA F

LAS CIFRAS EN LOS DIAGRAMAS SON LOS PRODUCTOS DE LOS COEFICIENTES $K_m \times K_i$ DETERMINADOS DE DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS POR KOCH.

MALLA	A	B	C	D	E	F
VALOR MAXIMO DE $K_m \times K_i$	1.83	1.74	1.73	1.90	2.23	2.23
COEFICIENTE K_m CALCULADO POR EL METODO DESCRITO.	1.82	1.50	1.18	0.85	1.50	1.50
COEF. $K_i = \frac{K_m \times K_i}{K_m}$	1.00	1.16	1.47	2.21	1.49	1.49

NOTESE QUE LOS VALORES DE K_i PARA LAS MALLAS A, B, C y D PUEDEN CALCULARSE MUY APROXIMADAMENTE POR $K_i = 0.650 + 0.172n$ EN DONDE n ES EL NUMERO DE CONDUCTORES PARALELOS EN UNA DIRECCION.

FIG. 9. DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES K_m y K_i DE LA ECUACION

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

FIG. 9

CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRAS.

$$R_T = \frac{\rho_{s1}}{4 \sqrt{\frac{A}{\pi}}} + \frac{\rho_{s1}}{L_R}$$

ELEVACION MAXIMA DE POTENCIAL DE LA RED CON RESPECTO A UNA TIERRA REMOTA.

$$E_{MAX} = R_T \cdot I_G$$

[REPRESENTA TAMBIEN LA TENSION MAXIMA DE TRANSFERENCIA]

TENSION DE PASO EN EL PISO ADYACENTE A LA RED

$$E_s = K_s \cdot K_i \cdot \rho_{s1} \cdot \frac{I_G}{L_R}$$

n-TERMINOS

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \dots \right)$$

$$E_s < V_s = \frac{116 + 0.7 \rho_{s2}}{\sqrt{T}}$$

SI NO SE CUMPLE LA CONDICION SE RECOMIENDA:

- RODEAR LA PERIFERIA CON UN CONDUCTOR EXTRA.
- AGREGAR UNA $+$ EN LAS ESQUINAS SALIENTES DE LA RED.
- CUBRIR LA SUPERFICIE DE LA PERIFERIA CON GRAVA.
- RECALCULAR.

INVESTIGACION DE LOS POTENCIALES DE TRANSFERENCIA.

CIRCUITOS DE COMUNICACION

VARISTORES.

TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO.

RIELES

ATERRIZAMIENTO EN VARIOS PUNTOS.

JUNTAS AISLADAS.

TRAMOS REMOVIBLES.

PLACAS. DE TIERRA.

CIRCUITOS AUXILIARES.

NEUTRO AISLADO (TRATADO COMO VIVO).

TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO.

TRANSFORMADOR PARA SERVICIOS DE ESTACION.

TUBERIAS

ATERRIZAMIENTO EN VARIOS PUNTOS.

INSERTAR SECCIONES AISLADAS.

EDIFICIOS AUXILIARES

CERCANOS, SE USA LA MISMA RED.

ALEJADOS, SE USA UNA RED INDEPENDIENTE.

ZONAS PELIGROSAS.

PALANCAS y MANIJAS DE OPERACION.

AGREGAR + EN EL SITIO DEL OPERADOR
PLACAS DE TIERRA
GRAVA EN LA SUPERFICIE.

CERCAS

Si $E_s < V_s$ LA CERCA SE PUEDE CONECTAR
A LA RED DE TIERRAS EN VARIOS PUNTOS

EN CASO CONTRARIO LA CERCA DEBE QUEDAR
FUERA DEL PERIMETRO DE LA RED Y SIN CONEXION.

CONDUITS

AI SLADOS y ATER RIZADOS EN UN PUNTO (TRAMOS CORTOS)
JUNTAS AI SLADAS (TRAMOS LARGOS).

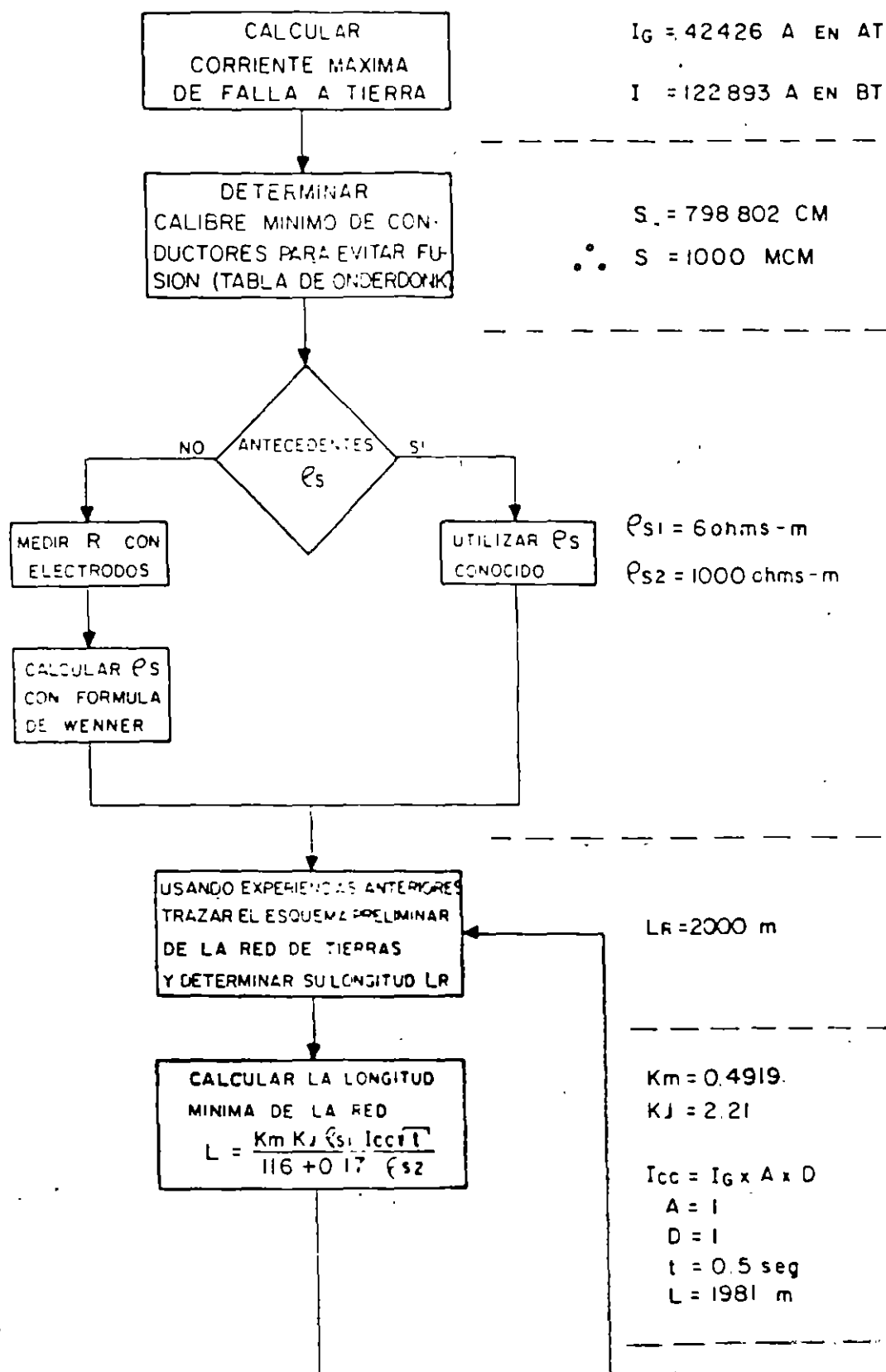
APARTARRAYOS

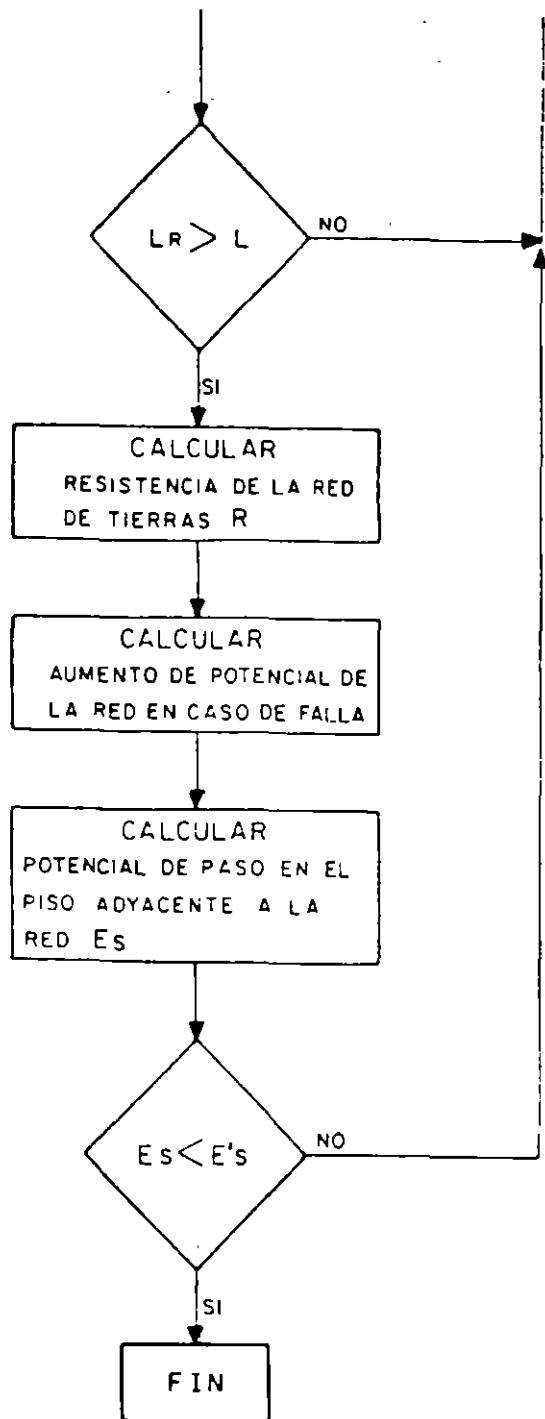
BAJADAS DE CABLE 4/0 AWG AI SLADAS

SECUENCIA DE CALCULO DE REDES DE TIERRA

SECUENCIA

EJEMPLO





$$R = 0.0397 \text{ ohms}$$

$$E = 4878 \text{ volts}$$

$$K_s = 0.412$$

$$E_s = 336 \text{ volts}$$

$$E's = 1153 \text{ volts}$$

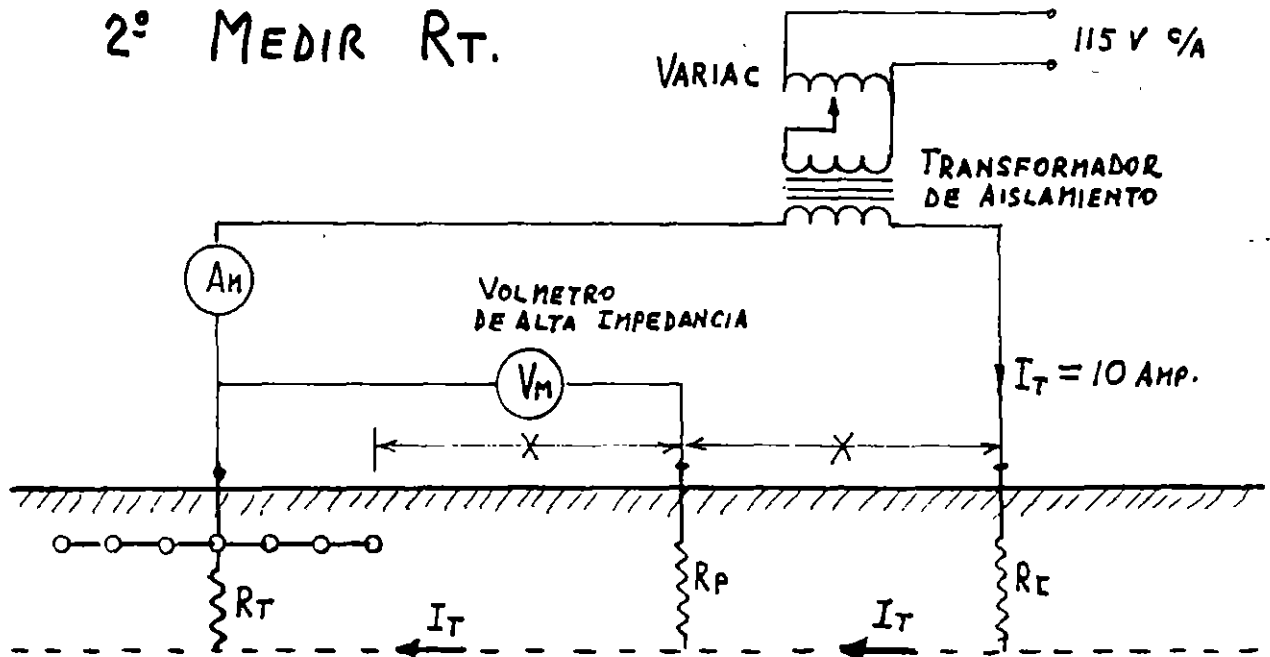
LA RED DE TIERRAS
ESTIMADA ES ADECUADA.

MEDICION DE LAS REDES DE TIERRAS

METODO DE LA CAIDA DE TENSION

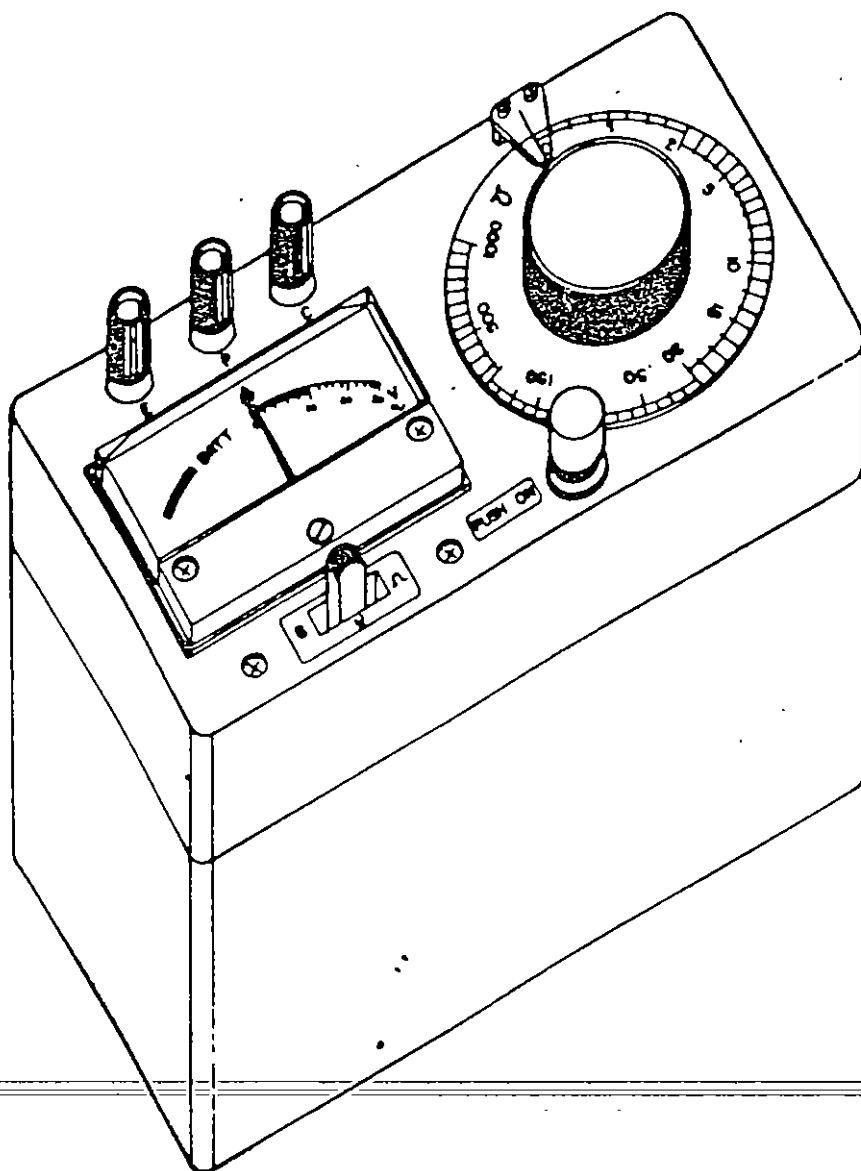
1º MEDIR CONTINUIDAD DE LA MALLA.
DE REGISTRO A REGISTRO.

2º MEDIR R_T .



$$R_T = \frac{V_M}{I_T}$$

X -DE 10 A 20 m.



PROBADOR DE RESISTENCIA DE TIERRA MARCA MEU
TIPO 3235

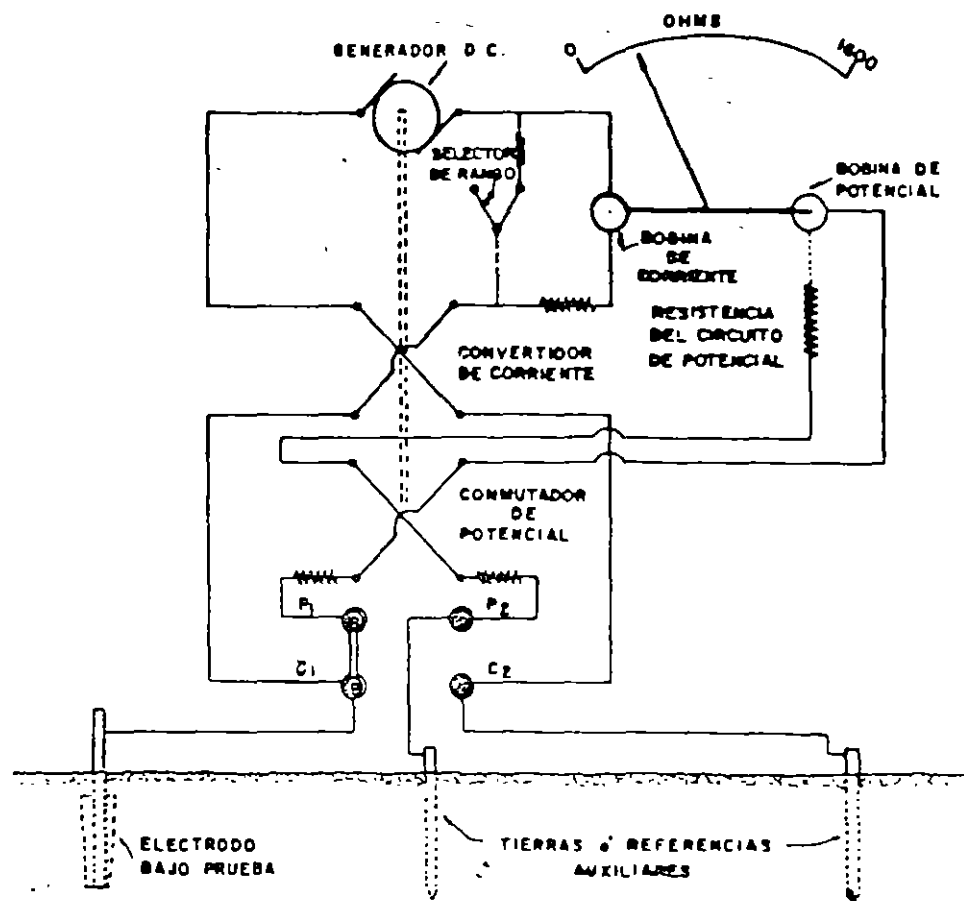


DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA DE TIERRA MARCA MEGGER

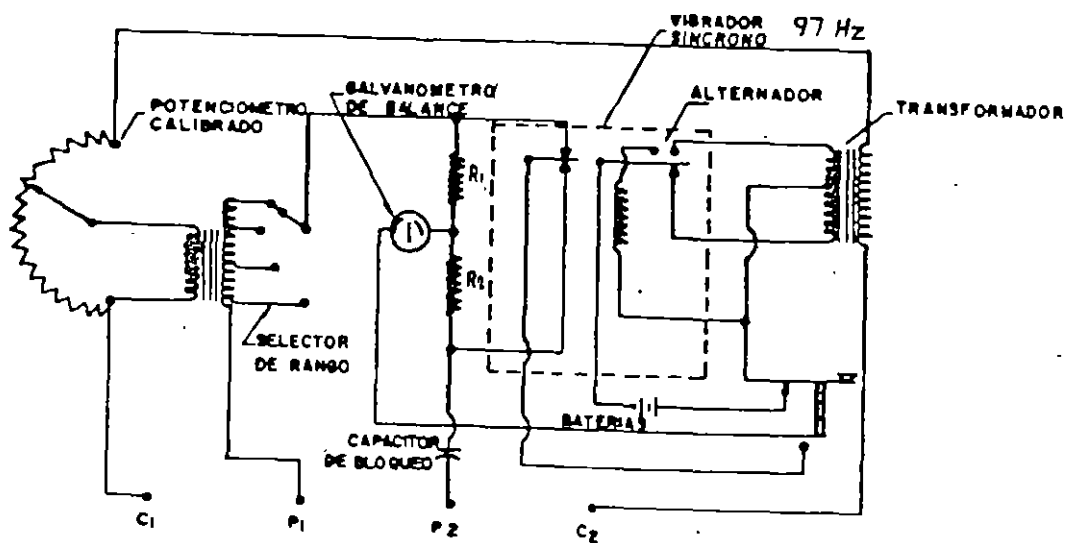
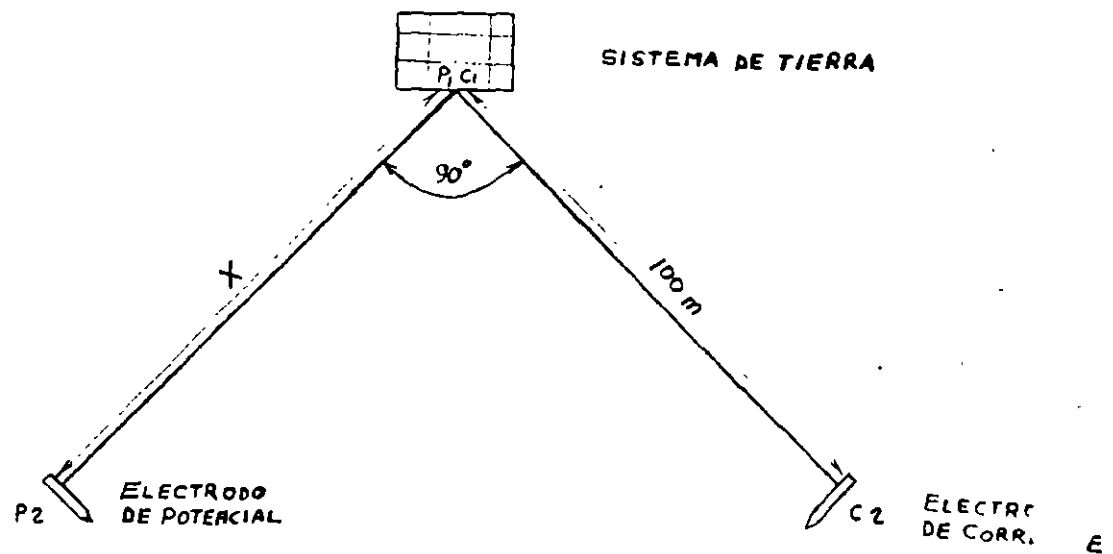


DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL VIBROGROUND

MEDICION DE SISTEMAS DE TIERRA



$X = 10, 20, 30, \dots 100 \text{ m}$

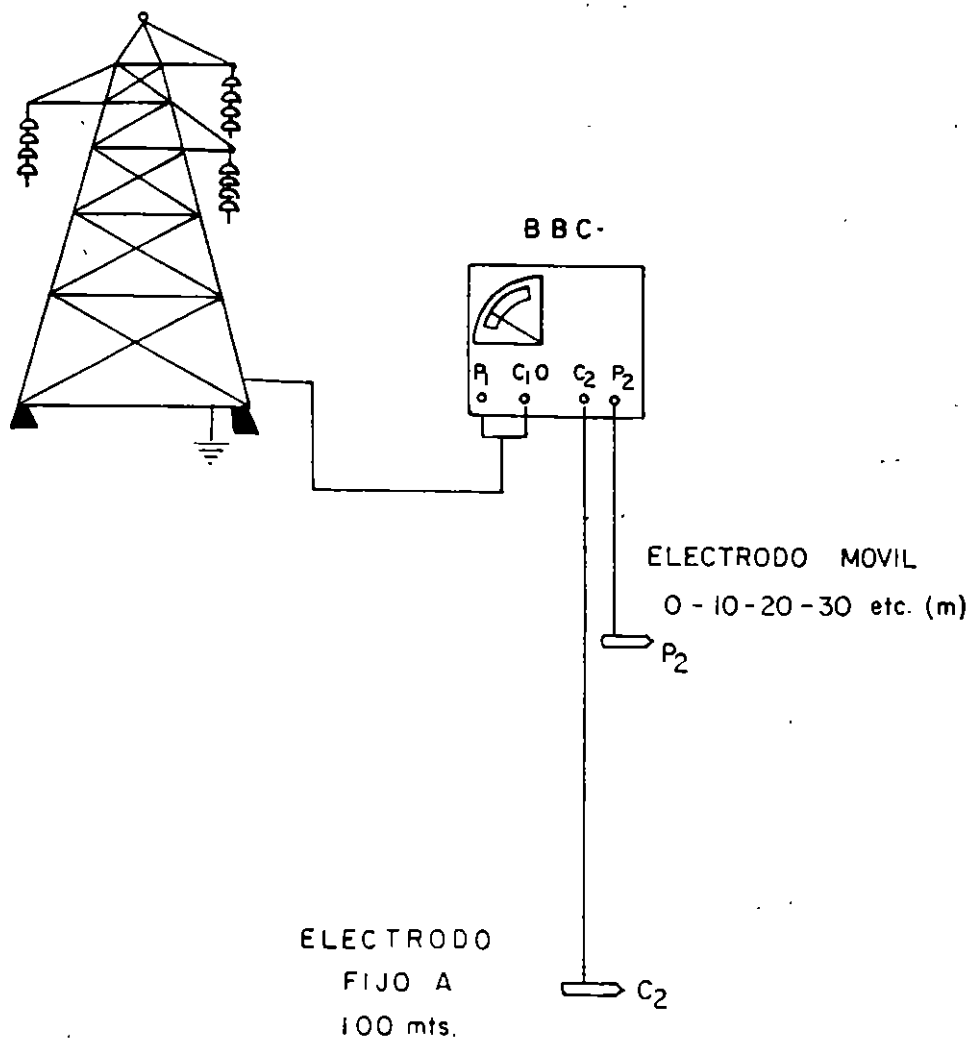
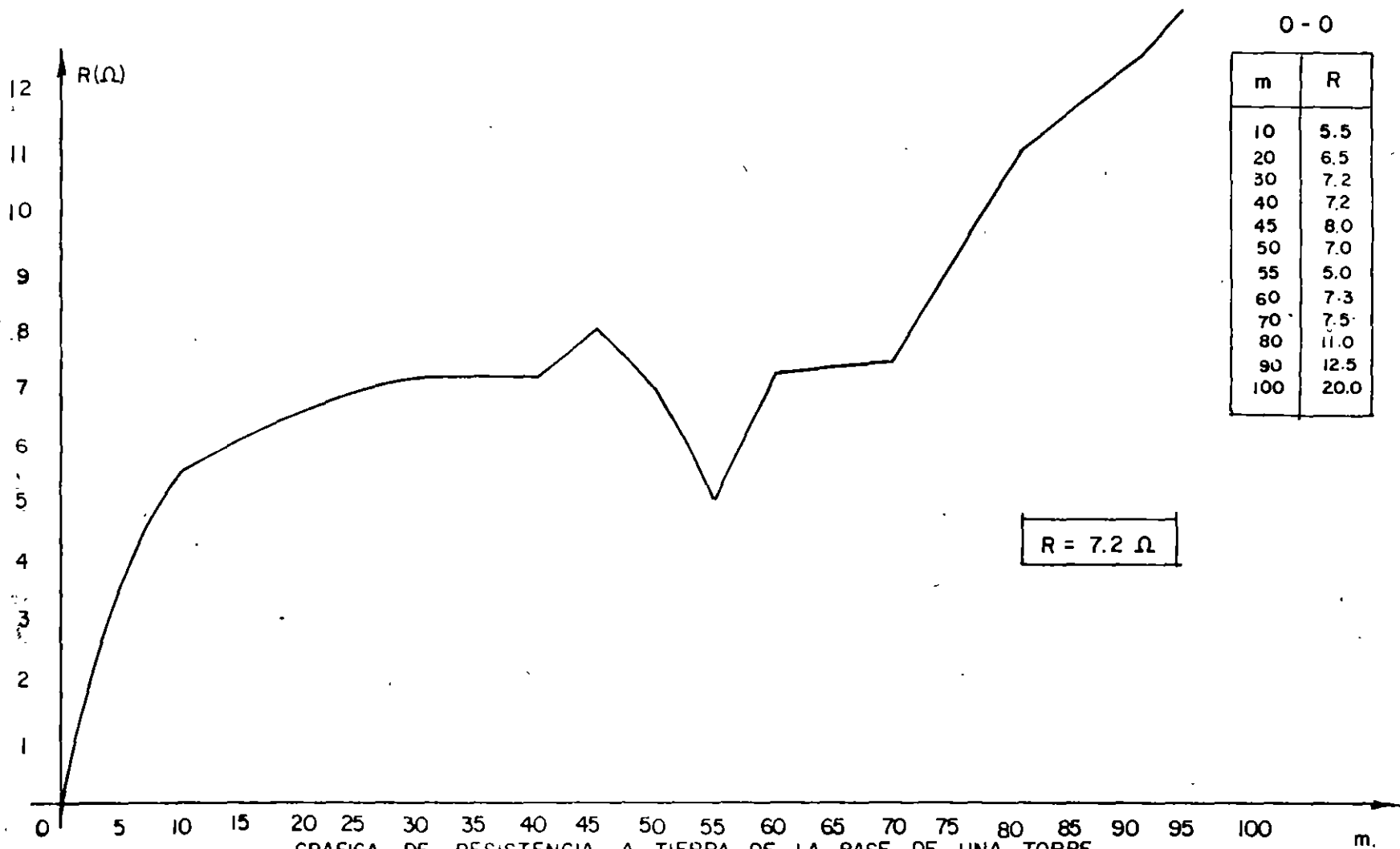


FIG. No. 5



GRAFICA DE RESISTENCIA A TIERRA DE LA BASE DE UNA TORRE
DE TRANSMISION DE 69 KV, SIN HILO DE GUARDA.

MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA
 DE TIERRA DE LA S. E. TESISTAN
 S. E. ENERGIZADA - MAYO 1980 -
 = VER GRAFICA No. 3 =

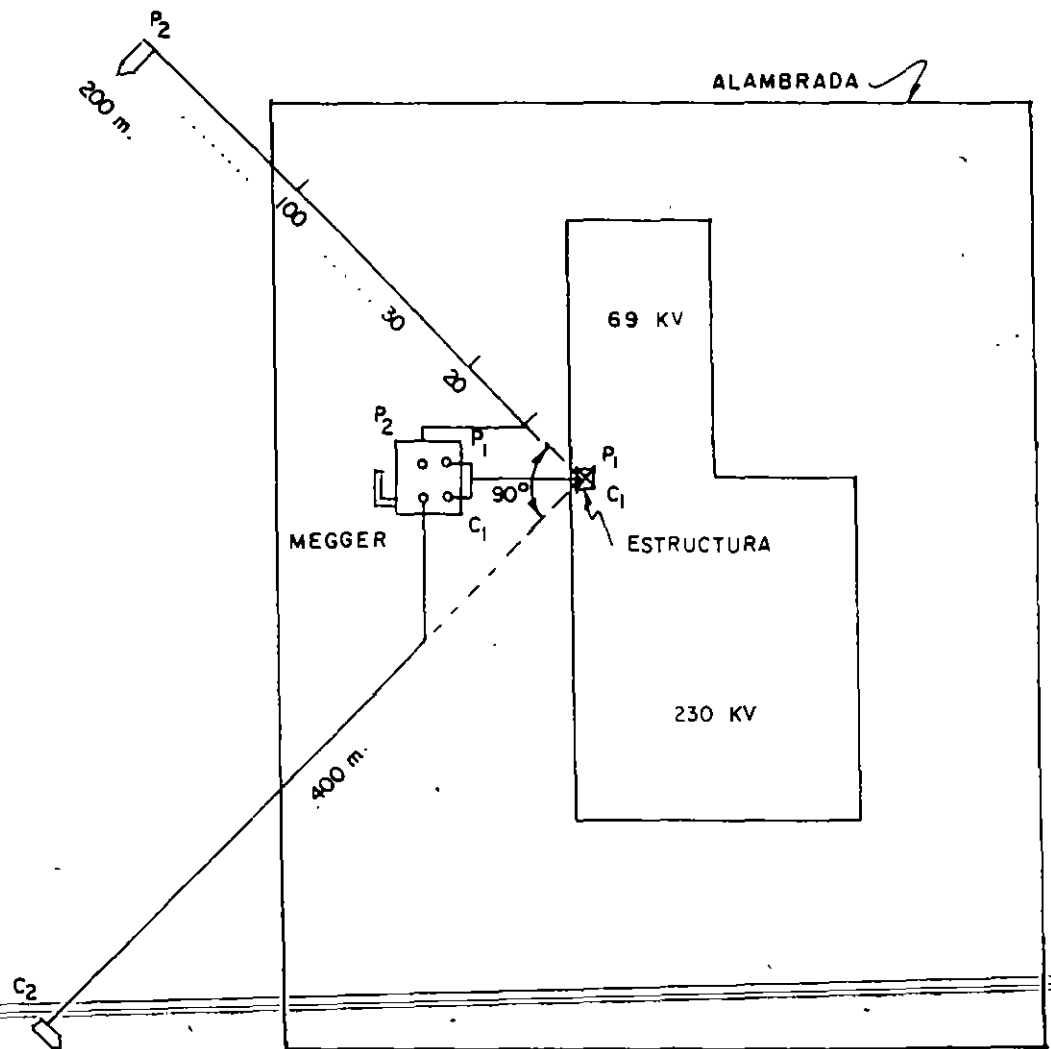
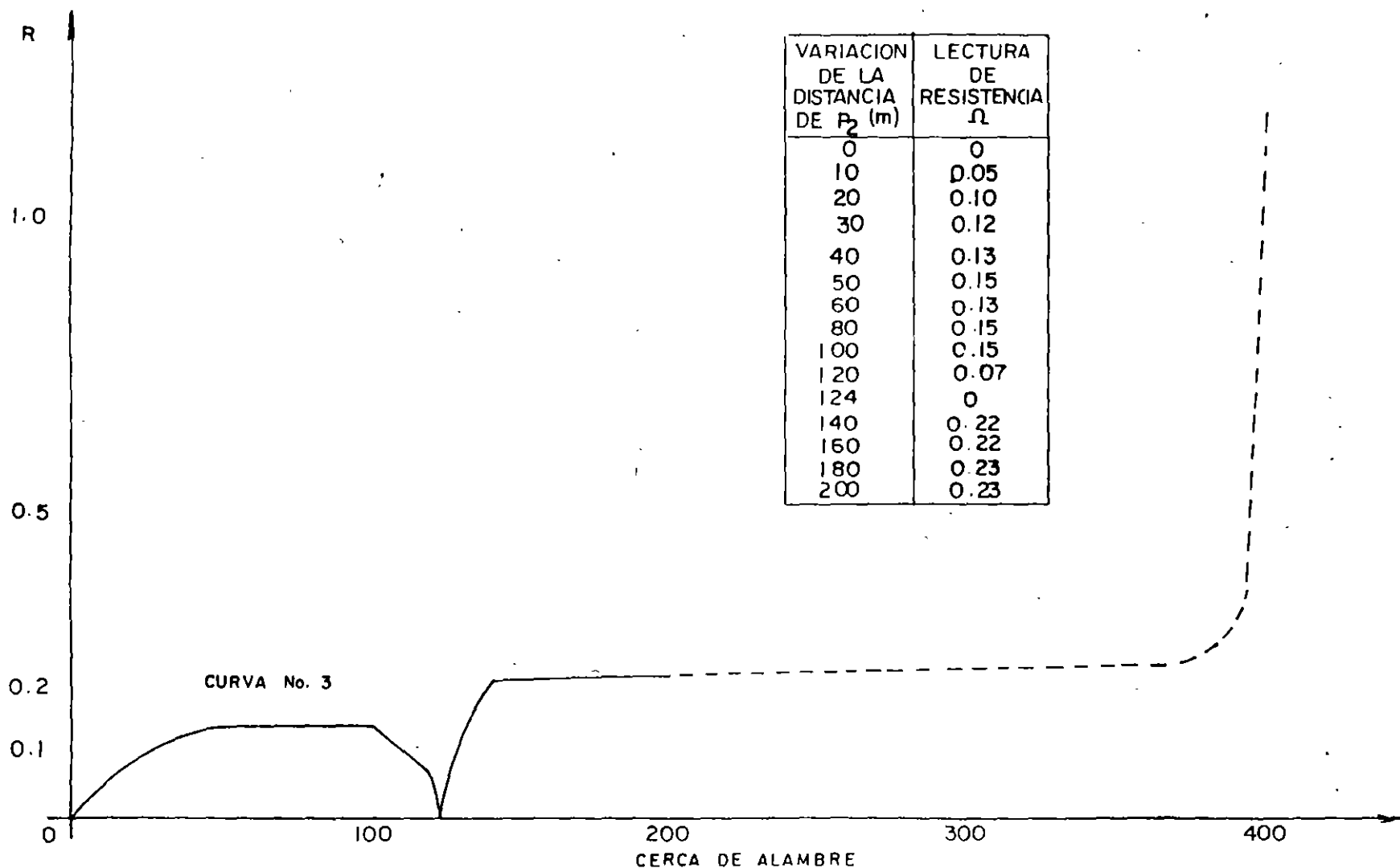
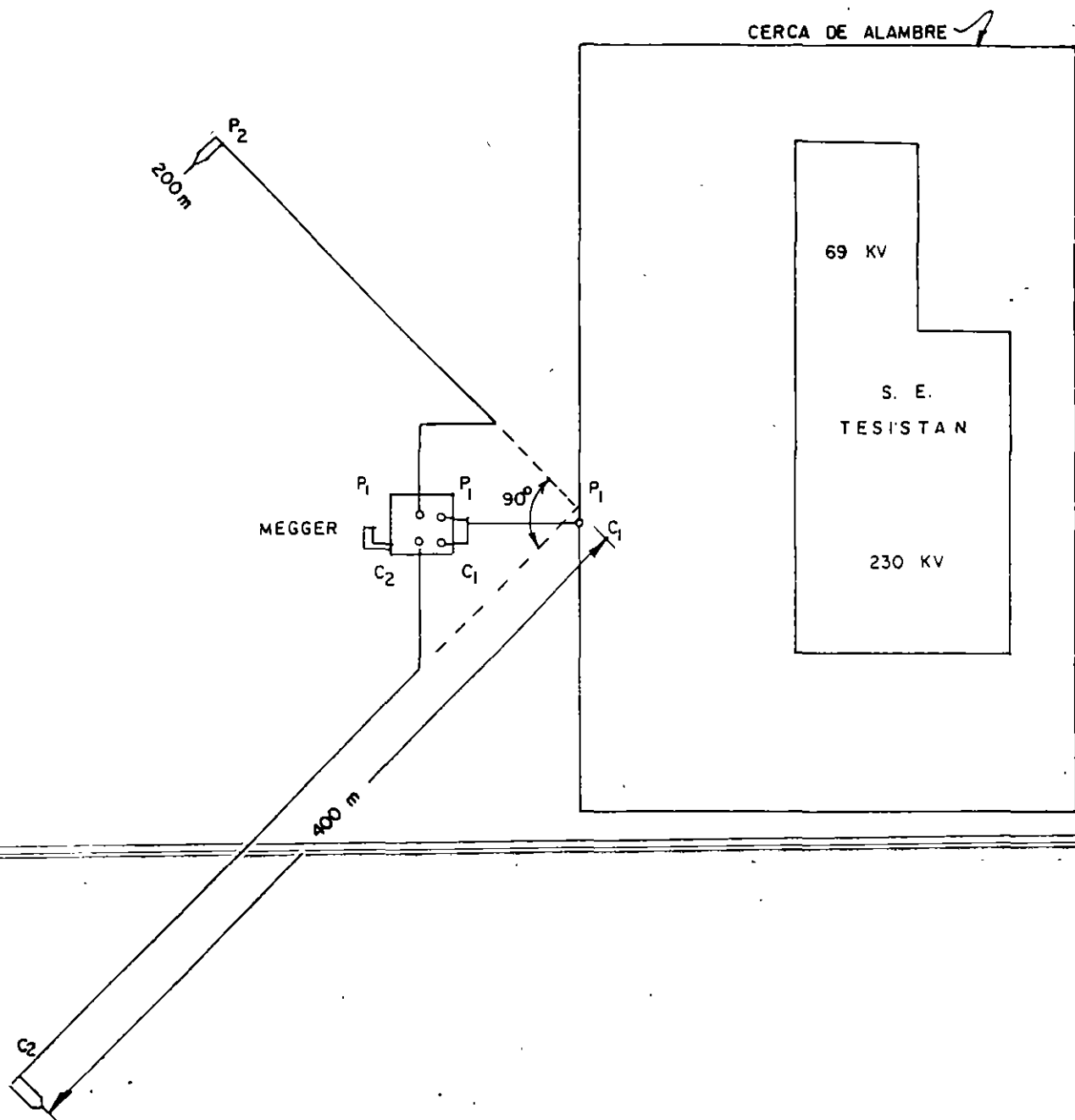


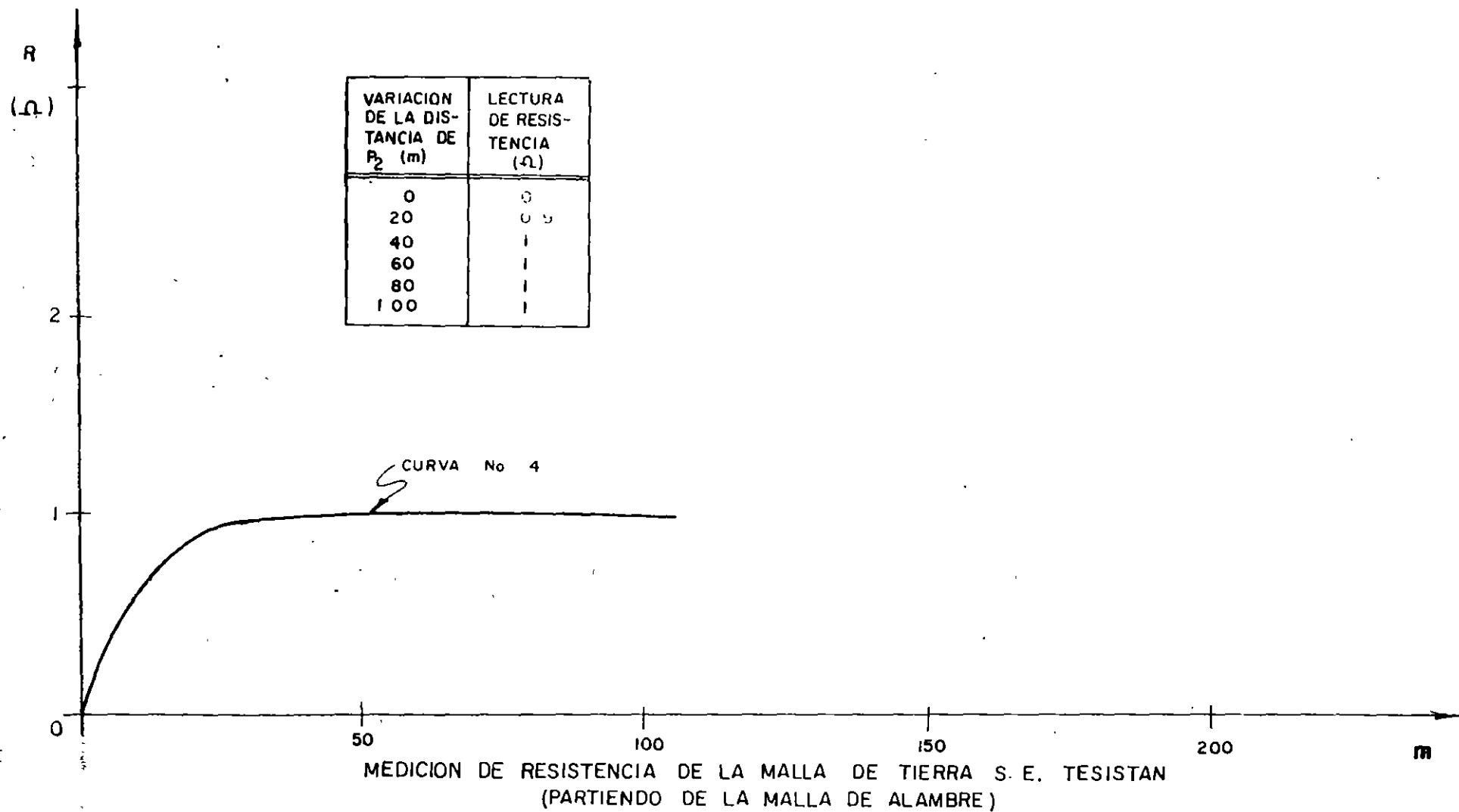
FIG. No. 2



MEDICION DE RESISTENCIA DE LA MALLA DE TIERRA S. E. TESISTAN
GRAFICA No. 3

MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA
DE TIERRAS DE LA S.E. TESISTAN
S.E. ENERGIZADA - MAYO 1980
= VER GRAFICA No. 4 =





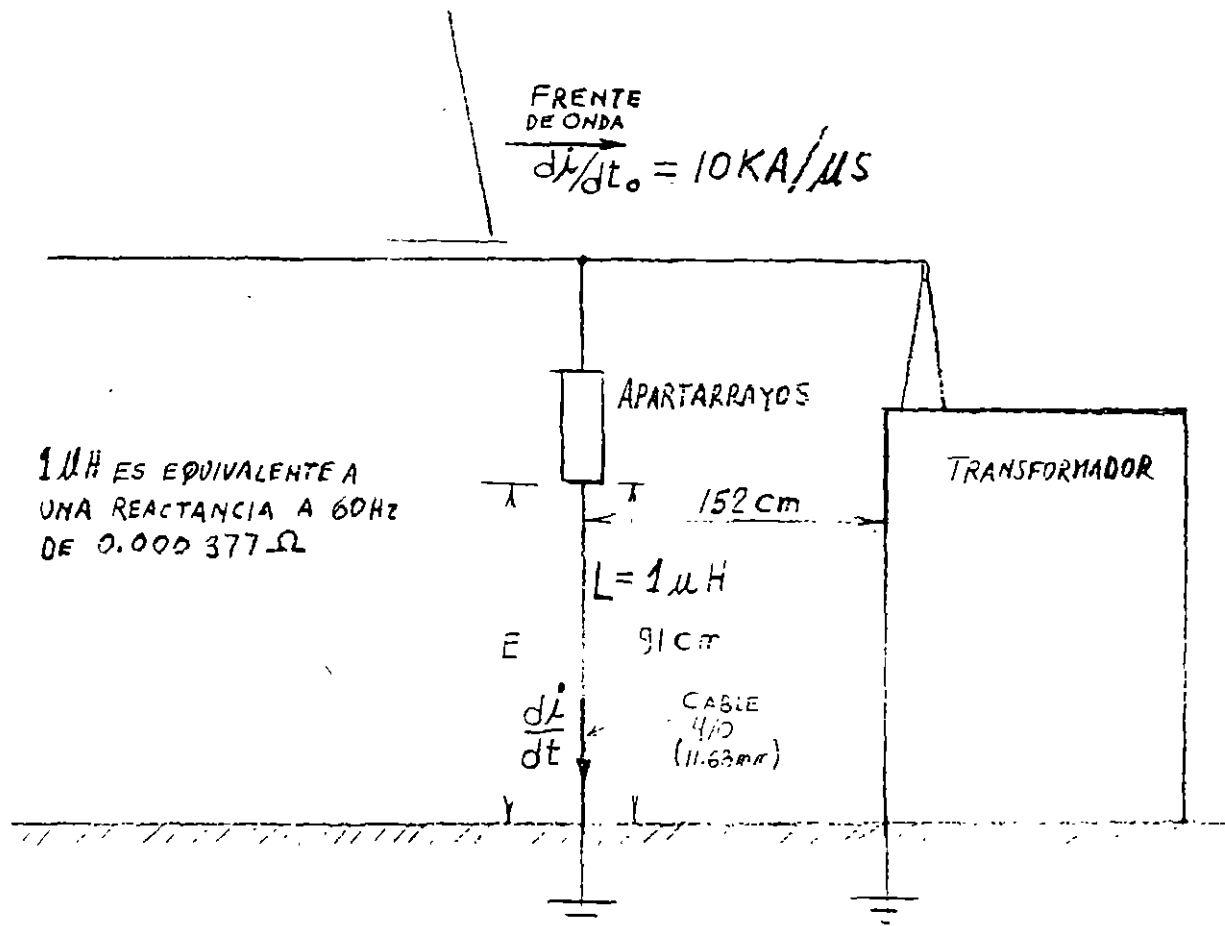
GRAFICA No. 4

BIBLIOGRAFIA

1. IEEE GUIDE FOR SAFETY IN SUBSTATION GROUNDING.. IEEE STD. 80 - 1976.
2. IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR GROUNDING OF INDUSTRIAL AND COMMERCIAL POWER SYSTEMS. IEEE STD. 142-1972 "THE IEEE GREEN BOOK".
3. ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK. WESTINGHOUSE
4. INDUSTRIAL POWER SYSTEMS HANDBOOK. D.L. BEEMAN
5. SYMMETRICAL COMPONENTS. WAGNER AND EVANS.
6. DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS. JOSE RAULL
7. ~~NORMAS TECNICAS DEL REGLAMENTO DE OBRAS.~~

CONEXION A TIERRA

EQUIPOS DE PROTECCION CONTRA FRENTES DE ONDA

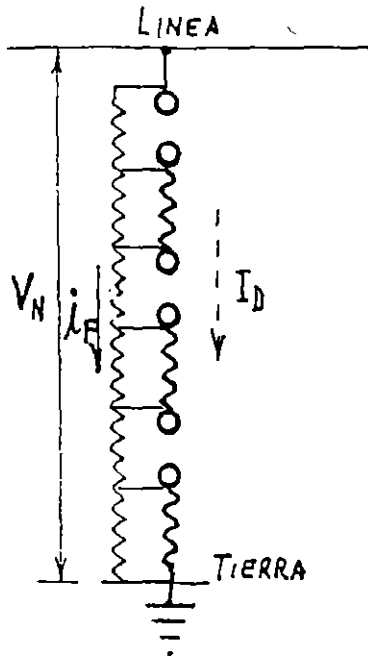


$$E = L \frac{di}{dt} = (1 \times 10^{-6}) \cdot (10,000 \times 10^6) = 10,000 \text{ V}$$

LA CAIDA DE TENSION EN LA BAJADA DEL APARTARRAYOS ES DE 10 KV Y SE AGREGA A LA TENSION DE DESCARGA DEL APARTARRAYOS.

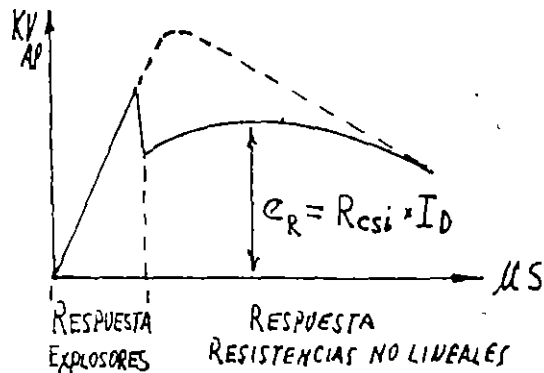
APARTARRAYOS

AUTOVALVULAR

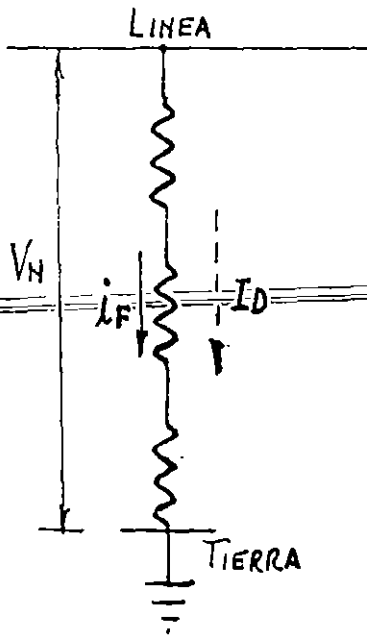


RESISTENCIAS NO LINEALES
DE CARBURO DE SILICIO.

$$R_{csi} = \frac{K_{csi}}{V_N^X}$$

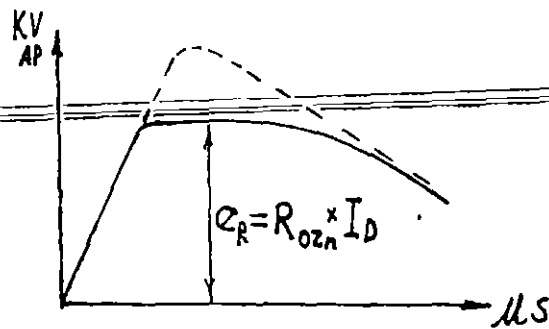


RESISTIVO (OZn)



RESISTENCIAS EXTREMADAMENTE
NO LINEALES DE OZn.

$$R_{Ozn} = \frac{K_{Ozn}}{V_N^Y}$$



$$R_{AP} = \frac{KV_D}{KAD}$$

EN LAS TABLAS SIGUIENTES SE MUESTRAN LAS CARACTERÍSTICAS USADAS POR DOS FABRICANTES DE APARTARRAYOS ... CHIE - CARLOS E. BURGOS.

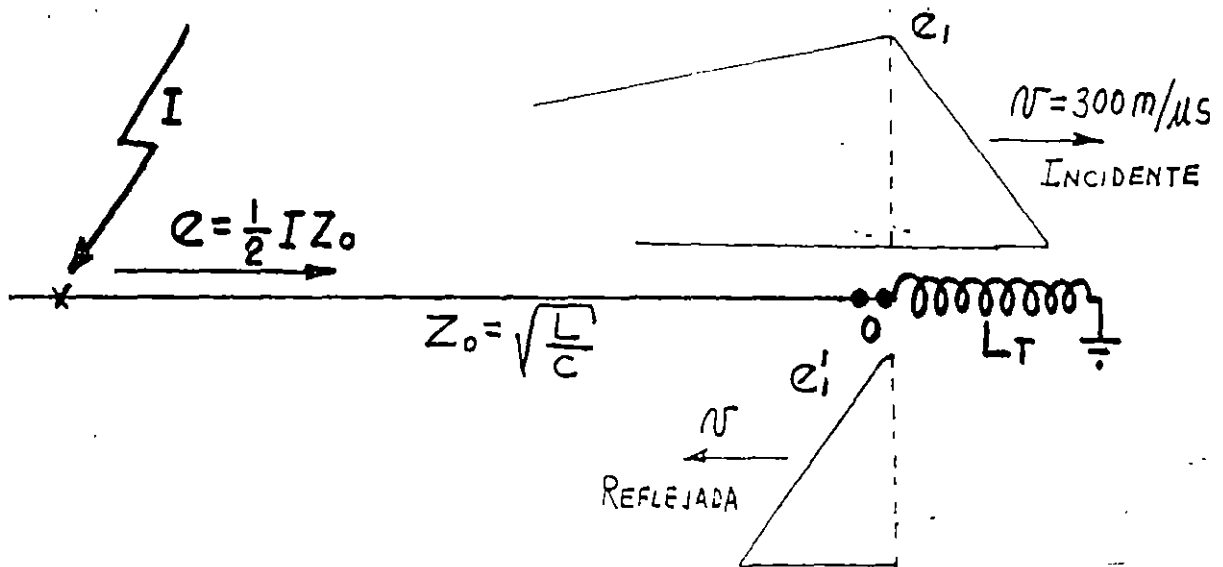
*

LINEA A TIE RRA TENSION NOMINAL	MINIMO DESCAR- GA A 60 Hz	MAXIMO DESCAR- GA ONDA 250/2800	MAXIMA DESCAR- GA ONDA 12 / 50	MAXIMA DESCAR- GA FRENTA DE ONDA	TENSION MAXIMA DE DESCARGA PARA UNA CORRIEN- TE DE DESCARGA ONDA 8 / 20					
					1500 A	3000A	5000A	10000 A	20000 A	40000 A
KV RMS	KV RMS	KV CRESTA	KV CRESTA	KV CRESTA	KV CRESTA	KV CRESTA	KV CRESTA	KV CRESTA	KV CRESTA	KV CRESTA
36	66	104	96	125	83	90	96	105	113	126
39	74	113	101	130	90	98	104	114	123	137
48	90	141	130	155	112	122	130	142	153	168
60	108	169	160	190	137	150	160	174	189	210
72	132	206	195	230	167	184	195	212	230	252
90	160	242	228	271	206	226	240	262	283	315
96	175	257	237	294	222	242	258	280	304	336
108	195	294	266	332	244	264	282	316	333	378
120	220	323	304	370	275	301	320	350	378	420
132	240	356	333	408	300	328	350	380	410	462
144	260	389	357	427	324	350	375	408	440	504
168	305	451	428	513	386	423	450	490	520	594
180	330	484	447	556	415	440	470	510	552	630
192	350	523	475	580	430	470	500	545	588	672
240	435	646	602	711	550	602	630	695	755	840

* APARTARRAYOS SELECCIONADO EN EL EJEMPLO

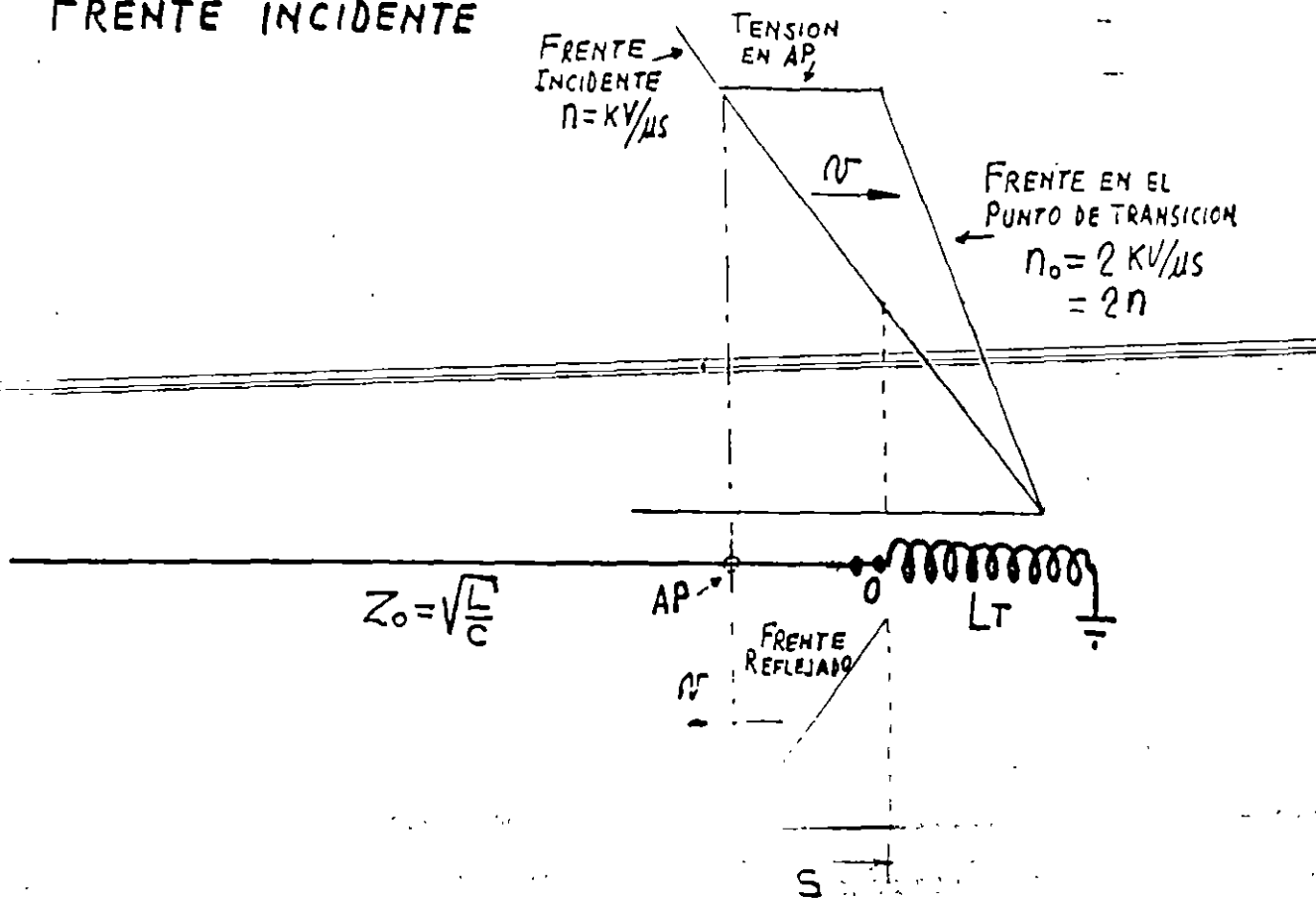
COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS VIAJERAS

ONDA INCIDIENDO EN EL DEVANADO DE UN TRANSFORMADOR



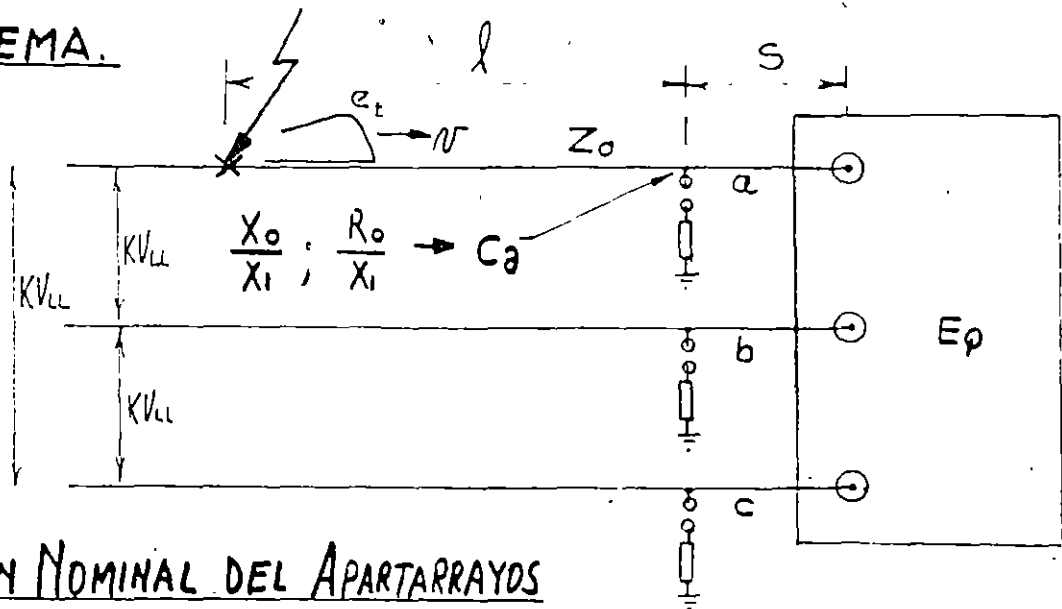
$$e_0 = e_1 + e'_1 = 2e$$

FRENTE INCIDENTE



SELECCION DE LA PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES.

1. ESQUEMA.



2. TENSION NOMINAL DEL APARTARRAYOS

$$KV_{RMS} = C_a \cdot KV_{LL}$$

(RATING)

3. CORRIENTE DE DESCARGA.

$$I_D = K_A \frac{2BIL}{Z_0} \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$l(m)$	K_A
0	4
700	3
1600	2
3200	1

4. MARGEN DE PROTECCION DEL APARTARRAYOS

$$M_a = \frac{KV_{ED}}{KV_{AP} (1 + 0.66 T_{AP})}$$

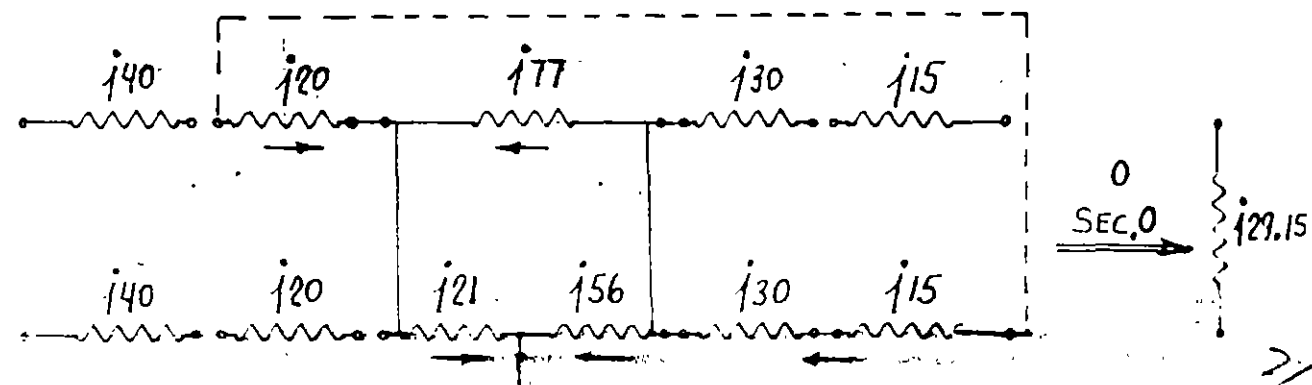
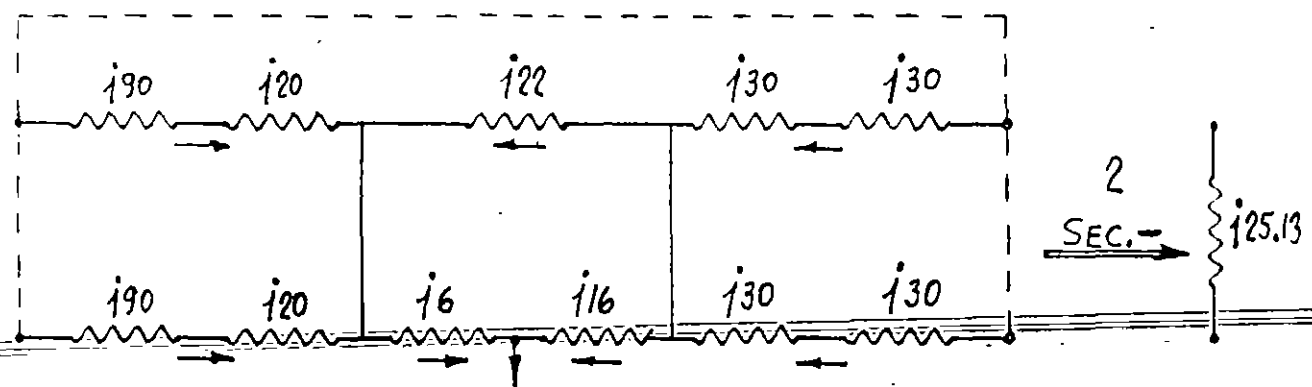
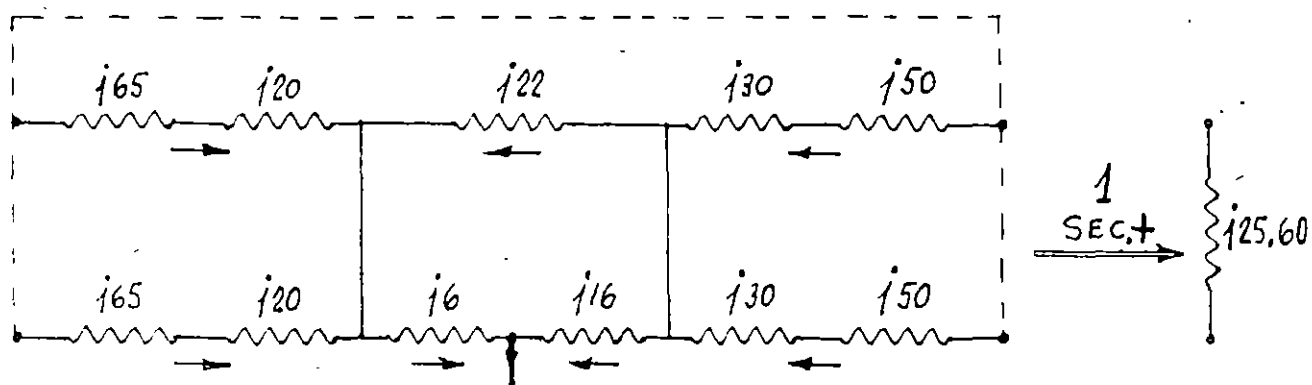
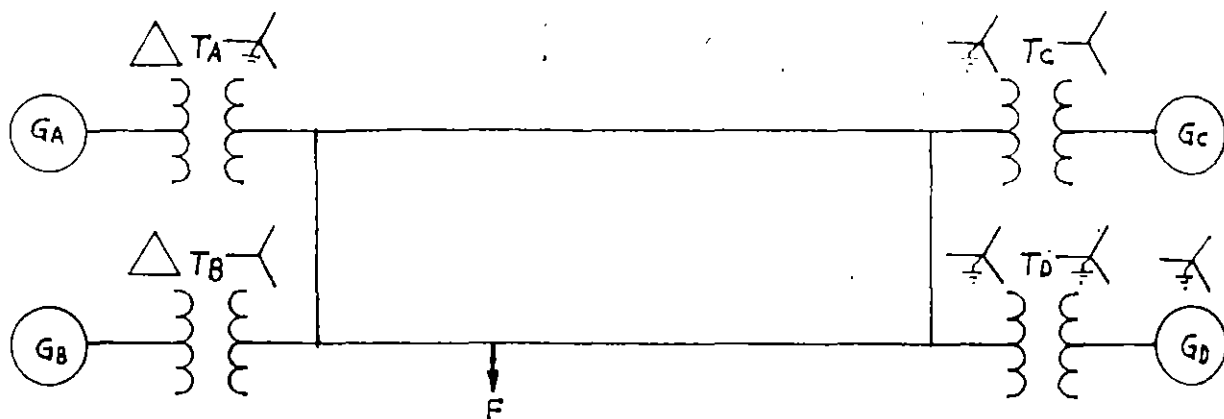
a	KV_{EP} (AGUANTE)	KV_{AP} (RESPUESTA)
1	FRENTE	FRENTE
2	BIL	1.2/50
3	BSL	250/2500

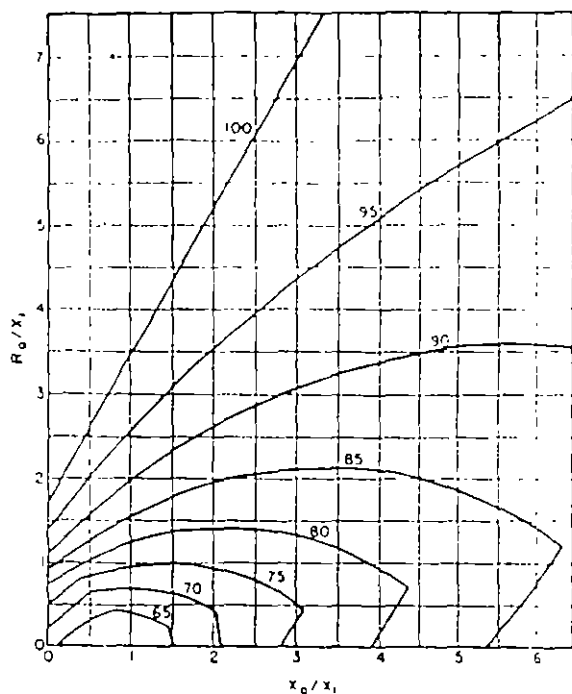
5. INSTALACION

$$S = 150 \frac{\frac{KV_{ED}}{MS} - KV_{AP} \text{ (FRENTE)}}{n}$$

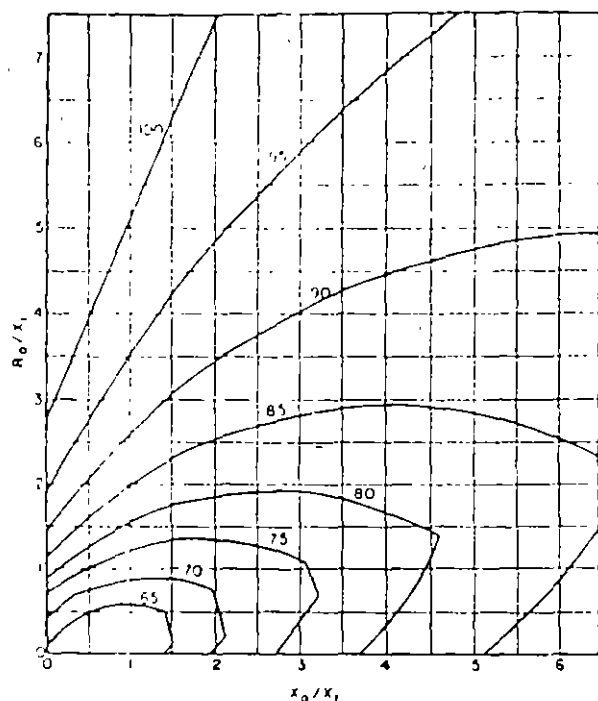
VALORES CORRESPONDIENTES
AL FRENTE DE ONDA.

ILUSTRACION DE LA DETERMINACION DE LOS DIAGRAMAS DE SECUENCIA

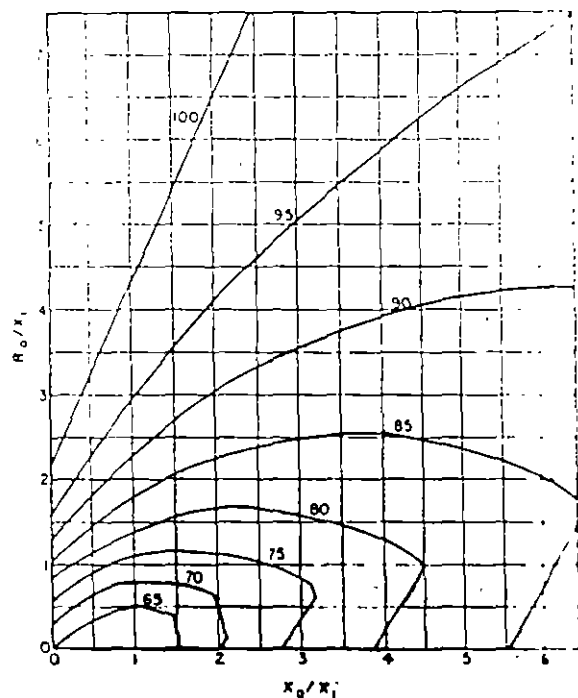




(a) Voltage conditions neglecting positive and negative sequence resistance— $R_1 = R_2 = 0$



(b) Voltage conditions for $R_1 = R_2 = 0.2 X_1$



(c) Voltage conditions for $R_1 = R_2 = 0.1 X_1$

FIG. 5-3

Maximum Line-to-ground Voltage at Location for Grounded Neutral System Under Fault Conditions

SELECCION DE APARTARRAYOS

EJEMPLO 1

DEFINIR LOS APARTARRAYOS PARA UN BANCO CONECTADO EN LA DERIVACION "F" DEL SISTEMA ILUSTRADO

$$\frac{X_0}{X_1} = \frac{29.15}{25.60} = 1.14 \quad ; \quad \frac{R_0}{X_1} = 1.0 \quad ; \quad C_a = 0.75$$

$$KV_{LL} = 66 \pm 5\% \rightarrow 69.3 KV_{MAX} \quad \left\{ \begin{array}{l} BIL - 350 KV \\ FRENTE - 580 KV, 0.58 \mu s \\ BSL - 291 KV \end{array} \right.$$
$$Z_0 = 400 \Omega$$

$$KV_{RMS} = C_a \cdot KV_{LL} = 0.75 \times 69.3 = 52 KV$$

RATING.

SE SELECCIONA EL INMEDIATO SUPERIOR. 60 KV

$$I_D = K_A \frac{2BIL}{Z_0} = 4 \frac{2 \times 350}{400} = 7 KA \rightarrow 10 KA$$

RESPUESTA DEL APARTARRAYOS DE 60KV SELECCIONADO.

MAXIMA DESCARGA FRENTE DE ONDA.

$$KV_{AP} = 190 KV$$

(FRENTE)

MAXIMA DESCARGA ONDA 1.2/50

$$KV_{AP} = 160 KV$$

(1.2/50)

MAXIMA DESCARGA ONDA 250/2500

$$KV_{AP} = 169 KV$$

(250/2500)

TENSION DE DESCARGA A 10KA.

$$KV_D = 174 KV$$

$$R_{AP} = \frac{174}{10} = 17.4 \text{ ohms}$$

EJEMPLO 1. (CONTINUA)

$$M_1 = \frac{K_{VEP} \text{ (FRENTE)}}{K_{VAP} \text{ (FRENTE)} (1 + 0.66 T_{AP})} = \frac{580}{190 (1 + 0.66 \times 0.1)} = 2.86$$

$$M_2 = \frac{K_{VEP} \text{ (BIL)}}{K_{VAP} \text{ (1.2/50)} (1 + 0.66 T_{AP})} = \frac{350}{160 (1 + 0.66 \times 0.1)} = 2.05$$

$$M_3 = \frac{K_{VEP} \text{ (BSL)}}{K_{VAP} \text{ (250/2500)} (1 + 0.66 T_{AP})} = \frac{291}{169 (1 + 0.66 \times 0.1)} = 1.61$$

$$S_1 = 150 \frac{\frac{K_{VEP} \text{ (FRENTE)}}{M_1} - K_{VAP} \text{ (FRENTE)}}{n} = 150 \frac{\frac{580}{2.86} - 190}{1000} = 1.92 \text{ m.}$$

RESPETANDO EL MARGEN QUE OFRECE EL
APARTARRAYOS SELECCIONADO.

$$S_{\text{MAX.}} = 150 \frac{\frac{580}{M_s} - 190}{1000} = 44 \text{ m} \quad M_s = 1.2$$

ACEPTANDO UN MARGEN DE PROTECCION
DE 20 % EN EL EQUIPO.

24



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**TEMAS SELECTOS DE INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES II
(SISTEMAS DE TIERRAS Y PRUEBAS DE CAMPO A EQUIPO)**

SISTEMAS DE TIERRAS I

**ING: ENRIQUE OROZCO LOPEZ
ING. ANDRES D. CHAVEZ SAÑUDO**

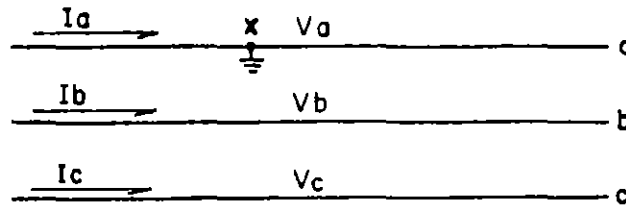
Al proyectar un sistema eléctrico de distribución, se pone especial énfasis en los métodos mejores para conducir el fluido eléctrico, como en la mejor manera de aislarlos del medio ambiente y entre sí. Se aplican los conocimientos tecnológicos de modo de tener el mejor control y la mejor protección para los circuitos eléctricos de control. Se busca la mejor -- coordinación tanto de aislamientos como de protecciones para lograr que el sistema eléctrico resulte eficiente, confiable, seguro y versátil.

Todo el conjunto de elementos constituyentes del sistema eléctrico, está prácticamente a la vista y es de fácil acceso, pero existe una sección de las redes eléctricas del sistema de distribución (nos referimos al sistema de tierras) a la cual es muy conveniente dirigir nuestra atención. Es necesario aplicar nuestros conocimientos teórico-prácticos para seleccionar el mejor sistema para poder descargar segura y adecuadamente las corrientes resultantes de una falla a tierra, y no permitir sobretensiones peligrosas para el personal y los equipos de las instalaciones eléctricas.

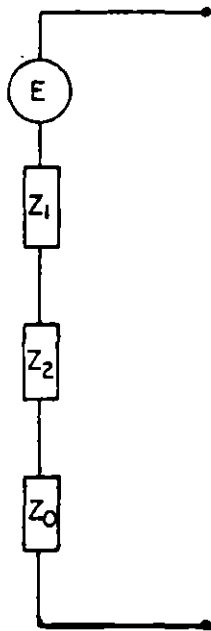
Existen varias formas de referir el neutro de un sistema eléctrico a tierra: aterrizaje directo, por medio de reactancias, por resistencias y también el de neutro aislado de tierra (neutro flotante ó distribución del ta).

7.1 TIPOS DE SISTEMAS ATERRIZADOS Y NO ATERRIZADOS.

Supongamos un sistema trifásico con una falla de línea a tierra como se indica en la figura:



Utilizando la técnica de componentes simétricas podemos resolver el circuito como se indica a continuación:



E .- Tensión de la Fuente

Z_1 .- Impedancia de secuencia positiva, vista desde el punto de falla X.

Z_2 .- Impedancia de secuencia negativa, vista desde el punto de falla X.

Z_0 .- Impedancia de secuencia cero, vista desde el punto de falla X.

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$E_1 = E \left(1 - \frac{Z_1}{Z_0 + 2Z_1} \right)$$

$$E_2 = -E \frac{Z_1}{Z_0 + 2Z_1}$$

$$E_0 = -E \frac{Z_0}{Z_0 + 2Z_1}$$

$$V_a = 0$$

$$V_b = E_0 + a^2 E_1 + a E_2$$

$$V_c = E_0 + a E_1 + a^2 E_2$$

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$V_b = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\frac{Z_0}{Z_1} - 1}{\frac{Z_0}{Z_1} + 2} \quad (\text{P. U.})$$

$$V_c = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\frac{Z_0}{Z_1} - 1}{\frac{Z_0}{Z_1} + 2} \quad (\text{P. U.})$$

$$Z_1 = R_1 + j X_1$$

$$Z_0 = R_0 + j X_0$$

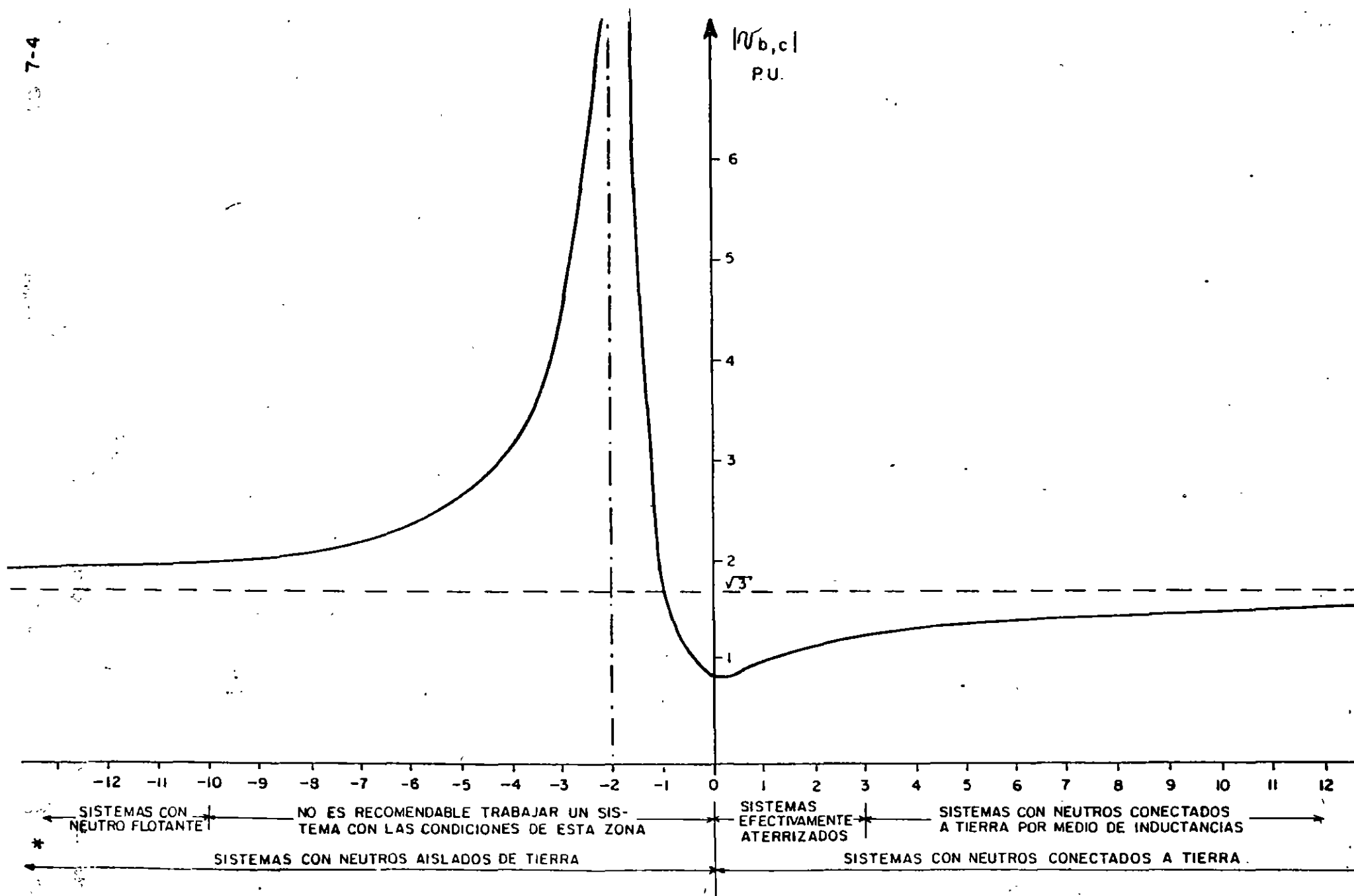
Si para simplificar despreciamos R_1 y R_0 podemos generalizar las ecuaciones anteriores:

$$V_{b,c} = -\frac{1}{2} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\frac{X_0}{X_1} - 1}{\frac{X_0}{X_1} + 2}$$

Dando valores a la relación X_0/X_1 podemos encontrar las tensiones que aparecen en las líneas (b,c) no falladas:

$\frac{X_0}{X_1}$	$ V_{b,c} $ (P.U.)	OBSERVACIONES
0	$\sqrt{3}/2 = 0.866$	La reactancia en secuencia positiva es función de la inductancia del circuito de potencia y siempre el de valor positivo. La reactancia en secuencia cero, corresponde a la que tiene el retorno por tierra, en éste caso es de valor positivo y significa que los neutros están conectados a tierra.
1	1	
3	1.25	
10	1.5	
∞	$\sqrt{3}$	
-1	$\sqrt{3}$	La reactancia en secuencia positiva no puede tener valor negativo. Si la reactancia en secuencia cero es de valor negativo, significa que los neutros del sistema están conectados a tierra con capacidades, y estamos por lo tanto en el caso de neutros flotantes.
-1.5	4.51	
-2	∞	
-3	4.51	
-4	3.12	
-6	2.41	
-10	2.02	
-40	1.8	
$-\infty$	$\sqrt{3}$	

Graficando la Información anterior obtenemos:



* LOS PUNTOS EN DONDE $\frac{x_0}{x_1} \approx \pm \infty$ CORRESPONDEN A SISTEMAS CON EL NEUTRO CONECTADO A TIERRA POR MEDIO DE UNA BOBINA DE PETERSEN

Analizando la gráfica anterior podemos apreciar que el tipo de aterrizamiento de un sistema eléctrico depende fundamentalmente de las sobretensiones a la frecuencia de generación que aparecen cuando una línea se pone a tierra. Podemos conocer por lo tanto, el grado de aterrizamiento de un sistema por medio de sus parámetros de diseño X_0 , X_1 y R_0 , como veremos a continuación:

- SISTEMA EFECTIVAMENTE ATERRIZADO.

Es el que tiene la mayor parte de sus neutros conectados directamente a una tierra de baja impedancia y que es capaz de conducir la corriente máxima de corto circuito.

Las condiciones para que el sistema se considere efectivamente aterrizado, son que para cualquier condición de operación y cualquier capacidad de generación se cumplan las siguientes relaciones.

$$0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3$$

$$0 \leq \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

Con estas condiciones las sobretensiones a la frecuencia del sistema

nunca podrán ser mayores de 1.4 p.u., y el factor de aterrizamiento siempre será menor de $1.4 / \sqrt{3} = 0.81$

Prácticamente todos los sistemas de potencia y distribución están efectivamente aterrizados.

La mayoría de las instalaciones industriales nacionales, también caen dentro de esta categoría de aterrizamiento.

- SISTEMA ATERRIZADO POR RECTANCIA

Como su nombre lo indica, implica la inserción de una bobina entre el neutro y la red de tierras. Esta reactancia debe tener un valor tal que se cumplan las siguientes condiciones:

$$3 < \frac{X_0}{X_1} < \infty$$

$$3 \leq \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

La red de tierras y la reactancia inductiva deben de poder conducir adecuadamente las corrientes de corto circuito del sistema.

Este sistema de aterrizamiento puede oroginar sobretensiones a la frecuencia del sistema de más de 1.4 p.u. pero menores de 1.73 p.u., lo que nos da un factor de aterrizamiento entre 0.81 y 1.00.

Este sistema de aterrizamiento se emplea cuando por alguna razón se desea limitar la corriente de corto circuito de fase a tierra del sistema, y se pueden aceptar las sobretensiones que aparecen cuando existen disturbios. (Sobretensión transitoria 2.73 p.u. max.)

- SISTEMA ATERRIZADO POR BOBINA DE PETERSEN

Es un sistema con el neutro aterrizado por una bobina (GFN) de magnitud adecuada para formar un circuito resonante en paralelo, a la frecuencia de generación, con la capacitancia a tierra del sistema, de tal manera que la corriente de falla de una línea a tierra sea cero.

y para limitarlas a 2.0 p.u. (Factor de aterrizamiento de 1.1)

Se establece la condición $X_0/X_1 \leq -10$. Para sistemas de gran capacitancia a tierra, en donde no se cumple la condición anterior, no es recomendable trabajarlos con neutro flotante ya que no es posible resolver satisfactoriamente el problema del aislamiento.

Los sistemas con neutro flotante se utilizan en instalaciones industriales en donde la continuidad del servicio es necesaria, ya que pueden seguir trabajando aún con una fase fallada a tierra.

Las sobretensiones transitorias pueden ser muy altas especialmente las debidas a cargas atrapadas en las capacitancias a tierra. Es necesario asegurarse que no existe la posibilidad de que ocurran éstos fenómenos indeseables en un sistema, antes de decidir el uso del neutro flotante.

- SISTEMAS ATERORIZADOS POR RESISTENCIA.

Se utiliza en sistemas eléctricos de potencia y distribución en donde lo más común es aterrizar el neutro con una resistencia pequeña, para limitar la corriente de corto circuito de fase a tierra. En éstos casos las sobretensiones a la frecuencia nominal siempre serán menores a 1.73 p.u., factor de aterrizamiento no mayores a 1.00. Las sobretensiones transitorias quedan muy amortiguadas y se tiene ventaja con respecto a los sistemas aterrizados por reactancia, aunque la resistencia es voluminosa ya que debe disipar gran cantidad de energía durante las fallas de línea a tierra.

Cuando la resistencia es muy grande para limitar la corriente de falla de fase a tierra a valores muy bajos que permitan seguir operando la instalación industrial, aún con éste tipo de falla y sin los problemas de sobretensiones transitorias de los sistemas con neutro flotante, se recomienda-

dimensionar la resistencia de tal manera que Z_0 / X_1 no se haga negativo.

$$Z_0 = \frac{R(-j \frac{1}{\omega C})}{R - j \frac{1}{\omega C}}$$

7.2 PROYECTOS DE REDES DE TIERRA.

740

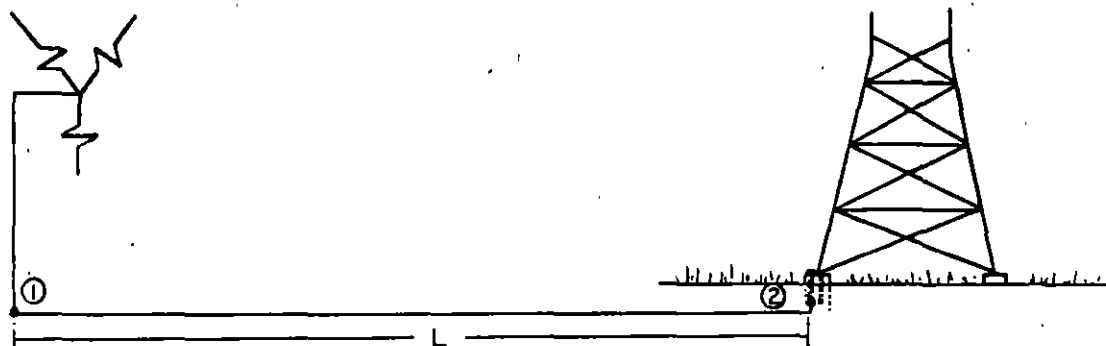
En el pasado, prevalecía el criterio de que cualquier objeto - aterrizado ya fuera que formara parte de un sistema de tierras o que por opinión propia era parte de una "buena tierra" podría ser tocado con toda seguridad. Aparentemente éste punto de vista era sólido, ya que si una estructura metálica, estaba conectada mecánicamente a una red hidráulica - en amplio contacto con el terreno, uno podría con plena seguridad apoyarse en ella, ya que cualquier línea de cualquier tensión que cayera sobre ella automáticamente igualaría su nivel de potencial al de tierra, es decir cero y el ser humano estaba a salvo de diferencias de potenciales peligrosos.

La experiencia de varios años, arrojó un resultado fatal, muchas vidas fueron segadas en forma totalmente extraña; caminando en un terreno - abierto con una "buena red de tierras" a sus pies, caían fulminadas, recargadas en una estructura metálica, morían electrocutados; ¿que pasaba con las tierras ?

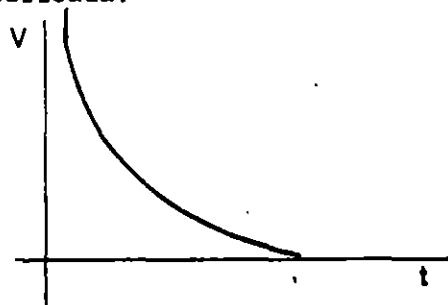
Se había solamente analizado el peligro de tensiones peligrosas - de línea a tierra ya fueran transitorias por descargas atmosféricas ó por - caídas de líneas más no se habían analizado los efectos secundarios de tales circunstancias; no se había contemplado el efecto de la corriente de falla al circular por el terreno.

¿Que pasa cuando ocurre una falla a tierra en un sistema debidamente aterrizado?

Supongamos que tenemos un conductor enterrado conectado al neutro de un transformador y una línea cayendo a tierra a una distancia L .



La corriente de falla se distribuirá en el terreno circundante y tratará de cerrar el circuito a través de los puntos ① y ②, ocasionando una curva de niveles de tensión debidos al paso de la corriente de falla por una resistividad del terreno (ρ) en una longitud (L) lo que por ley de ohm -- $dv = \rho L d_{acc}$, que nos arrojará una superficie equipotencial desarrollada de la siguiente forma simplificada.



Se observa que los decrementos de tensión son sumamente importantes en las proximidades del punto de falla ya que a pequeños incrementos de longitud, ocurren grandes incrementos de potencial, que pueden resultar de varios miles de volts.

¿ Cual es el circuito eléctrico equivalente del cuerpo humano ?

Según reportes del IEEE, el umbral de percepción de la corriente eléctrica en un ser humano es del orden de 1 ma, ya en niveles de 9-25 ma, resulta un efecto doloroso y se empieza a presentar el fenómeno de contracción muscular que

ocasiona el efecto de aferrarse a los objetos electrizados, 50-100 ma, se presenta el umbral de la fibrilación ventricular, que es un fenómeno de daño irreversible en el corazón, para terminar en valores superiores con el daño total del mismo y la muerte por ausencia total de actividad palpitatoria combinada - con la asfixia,

Se puede considerar que un valor seguro para un corazón sano es de 25 ma, a través de él. Naturalmente es muy importante el tiempo de duración de dicha corriente.

Se ha comprobado que si el tiempo es menor, el cuerpo puede soportar corrientes mucho mayores determinándose una relación empírico-matemático - por la fórmula de Charles Dalziel, como sigue:

$$I_k^2 t = 0.0135$$

de donde:

I_k : corriente en amperes a través del cuerpo

t : duración de la falla en segundos

0.0135: factor empírico basado en el concepto de constante de energía.

De la fórmula anterior:

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

Con respecto a la resistencia del cuerpo, es pertinente anotar que según las experiencias en la Universidad de Columbia, se ha obtenido el valor-

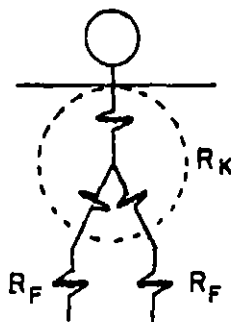
promedio de 2300 ohms entre mano y mano y 1100 ohms entre una mano y un pie

Como seguridad se emplea el valor de 1000 ohms en ambos casos -

(R_k).

Además se ha determinado que siendo la resistividad del terreno ρ_s , la resistencia de un pie (R_F) será $3 \rho_s$ ohms, por lo tanto entre dos pies en serie (un paso) será $6 \rho_s$ ohms y los dos pies en paralelo (tocando con una mano el objeto energizado) será de $1.5 \rho_s$.

El circuito equivalente de un cuerpo humano promedio será



¿ Como se comporta una malla de tierra bajo condiciones de falla?

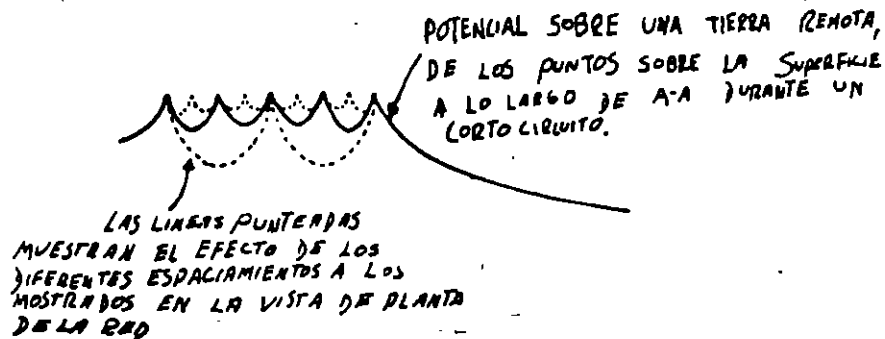
Por lo que respecta a la dispersión de corrientes en el terreno, como se muestra a continuación.



Por lo que respecta a los niveles de tensión, pueden trazarse su perfiles equipotenciales como se puede apreciar.

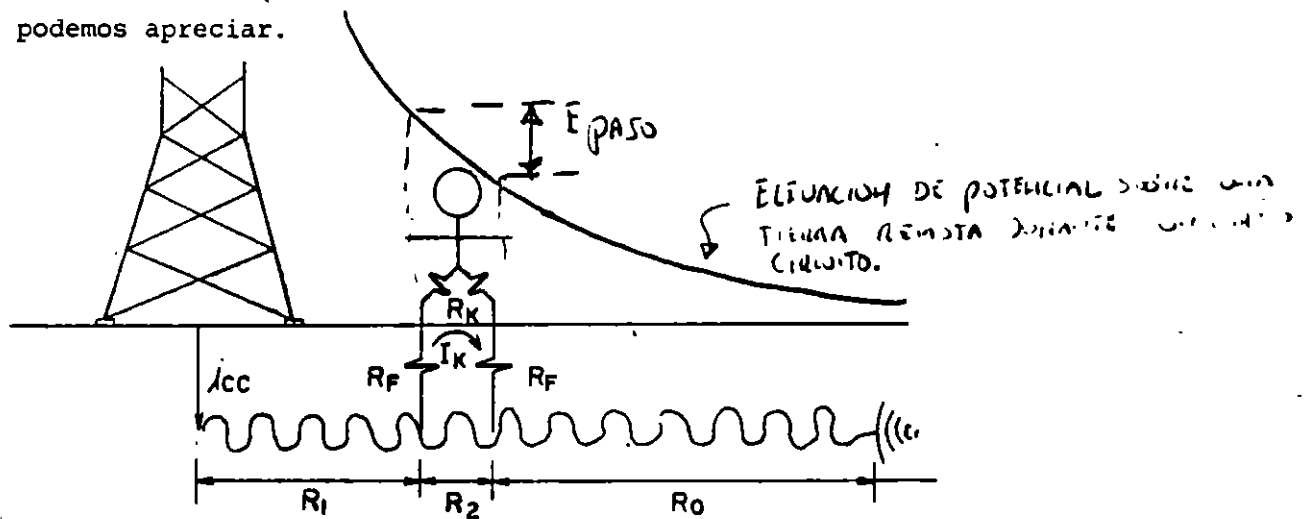


Las tensiones que aparecen en el nivel de piso terminado son:

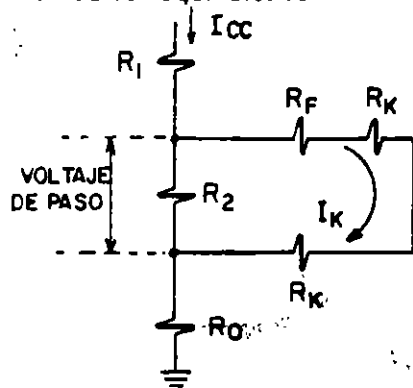


4.- Diferentes posibilidades de accidentes.

La primera posibilidad es que el individuo al dar un paso en -- una superficie bajo tensiones transitorias puede estar sometido a potencia - les peligrosos debido a una falla de fase a tierra (voltaje de paso) como- podemos apreciar.



Circuito equivalente:

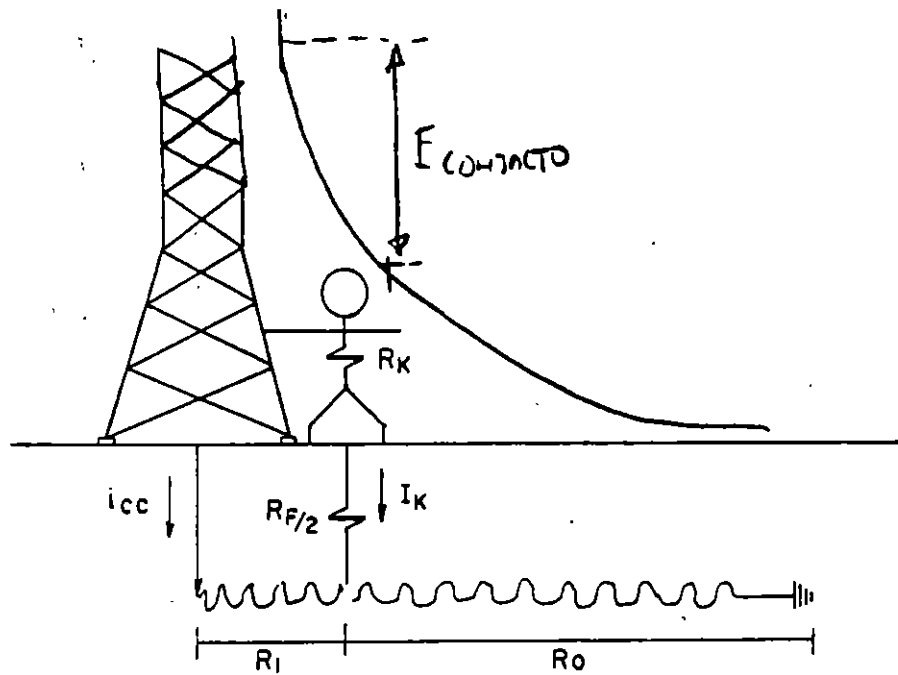


$$V_p = (R_K + 2R_F) \times I_K$$

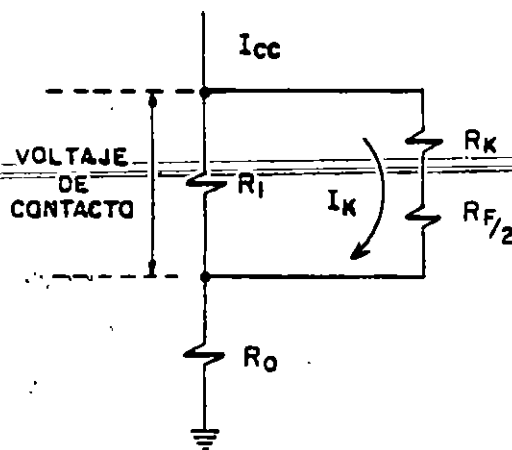
$$= (1000 + 6 \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$= \frac{116 + 0.7 \rho_s}{\sqrt{t}}$$

La segunda posibilidad existe cuando una persona está parada -
 junto a una estructura aterrizada y hace contacto manualmente con ella y -
 ocurre una falla a tierra (voltaje de contacto) como se muestra:



Circuito equivalente:

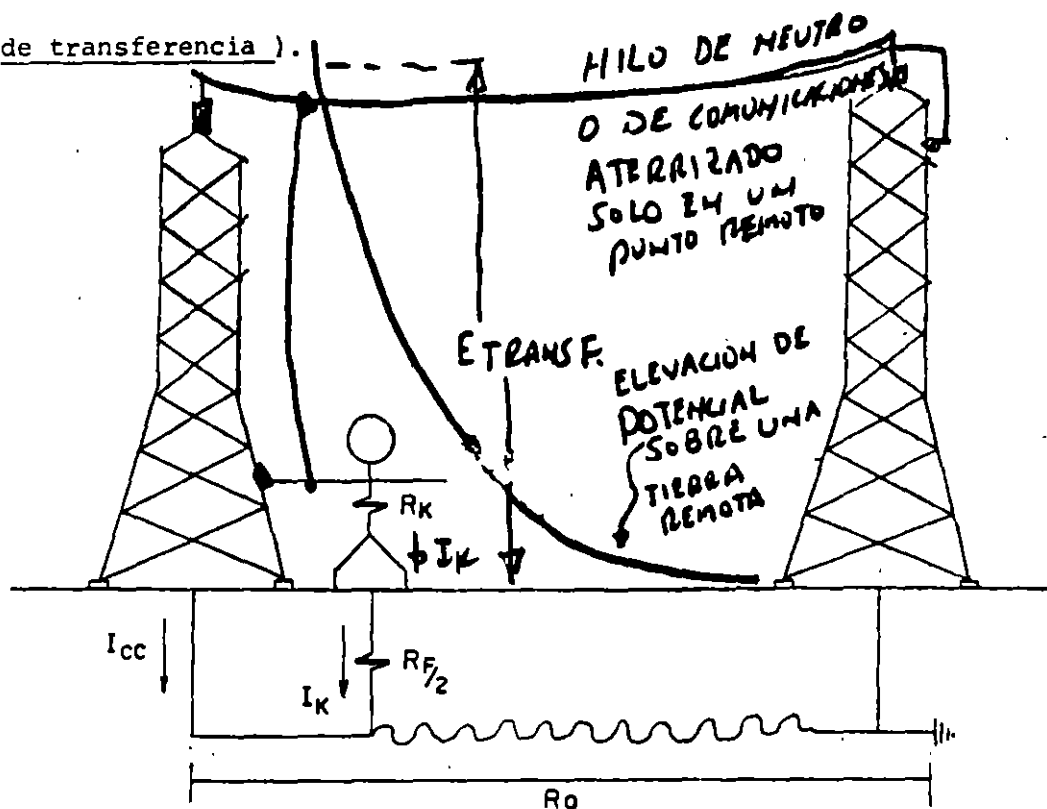


$$V_c = (R + R_{F/2}) I_K$$

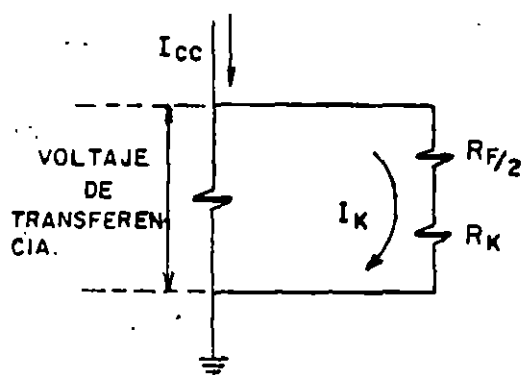
$$= (1000 + 1.5 \Omega_s) \frac{0.116}{\sqrt{E}}$$

$$= \frac{116 + 0.17 \rho_s}{\sqrt{E}}$$

La tercera posibilidad es cuando existe un elemento metálico - aterrizado en un punto de falla y su longitud es tal que puede hacerse contacto simultáneamente con él y otra superficie también aterrizada (voltaje de transferencia).



Circuito equivalente



$$\begin{aligned}
 V_t &= (R_{F/2} + R_K) I_K \\
 &= (1000 + 1.5 \text{ } \Omega) \frac{0.116}{\sqrt{t}} \\
 &= \frac{116 + 0.174 \text{ } \Omega}{\sqrt{t}}
 \end{aligned}$$

Tanto los voltajes de paso como los de contacto y transferencia han sido fijados en un máximo de 150 V , y la duración máxima será de 1.2 - seg.

La secuencia de cálculo para proyectar una red de tierras con - capacidad de conducir las corrientes de corto circuito y que presente seguridad al personal y equipos se indica a continuación:

CALCULO DE REDES DE TIERRA

- 1.- Determinación de la corriente máxima de falla a tierra IG.
- 2.- Determinación del calibre mínimo para evitar fusión mediante table de ---
ONDERDONK.

DURACION DE LA FALLA SEG.	CM / A		
	CABLE	CONEXIONES SOLDADAS.	CONEXIONES MECANICAS.
30	40	50	65
4	14	20	24
1	7	10	12
0.5	5	6.5	8.5

$$S = (CM / A) \times IG$$

- 3.- Resistividad del terreno.

Fórmula de D.F. WENNER

$$\rho_s = \frac{4 \pi A R}{1 + \frac{2 A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2 A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}}$$

- ρ_s = Resistividad el terreno en (ohm - m)
 R = Resistencia medida con Megger en (ohms)
 A = Distancia entre electrodos adyacentes en (m)
 B = Profundidad de enterramiento de los electrodos en (m)

VALORES TIPICOS DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO	
TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD (ohm - m)
Tierra Orgánica mojada.	10
Suelo húmedo.	10^2
Suelo seco.	10^3
Concreto armado.	10^3
Cama rocosa.	10^4

4.- Diseño preliminar de la red de tierras.

$$L = \frac{K_m K_i \rho_{si} I_{cc} \sqrt{T}}{0.116 + 0.17 \rho_{s2}}$$

~~L = Longitud mínima del conductor enterrado en metros incluyendo las~~
 varillas.

K_m - Coeficiente que toma en cuenta los conductores de la malla en cuanto a
 número, calibre y disposición

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

(n-2) términos

D - Separación entre conductores de la malla (m)

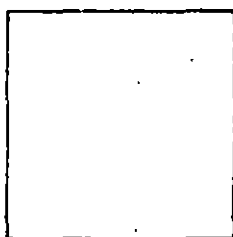
d - Diámetro de los conductores que forman la malla en (m)

h - Profundidad a la que se entierra la red en (m)

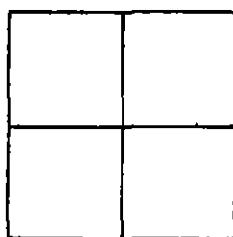
n - Espaciamientos de la malla.

K_j .- Factor de corrección por irregularidades, tomando en cuenta la distribución irregular del flujo de corrientes a tierra.

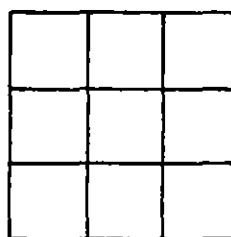
(factores K_j sugeridos por Walter Koch.)



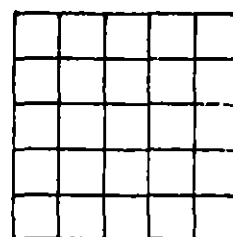
$K_j = 1$



$K_j = 1.16$



$K_j = 1.47$



$K_j = 2.21$

ρ_{s1} - Resistividad del terreno en (ohms - m)

ρ_{s2} - Resistividad del terreno que tocan los pies en (ohms - m)

I_{cc} - Corriente eficaz máxima que fluirá de la red en conjunto hacia la tierra, en (AMP)

$$I_{cc} = I_G \times A \times D$$

A = Factor de Ampliación

D = Factor de Decremento

DURACION DE LA FALLA		FACTOR DE DECREMENTO
CICLOS A 60 Hz	SEG.	D
0.5	0.008	1.65
6	0.10	1.25
15	0.25	1.10
30 ó más	0.5 ó más	1.00

Para cálculos más precisos del Factor de decremento se puede emplear la siguiente fórmula

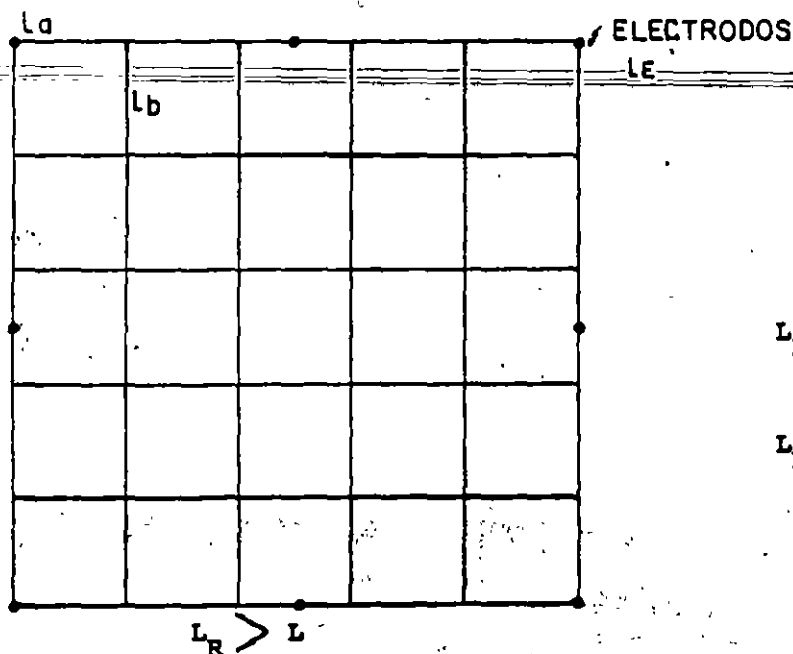
$$D = \sqrt{\frac{1}{T} \left[T + \frac{1}{\omega} \frac{X}{R} \left(1 - e^{-\frac{2\omega T}{X/R}} \right) \right]}$$

T - Duración de la falla en (seg)

$$\omega = 2\pi f$$

X - Reactancia total del sistema en (ohms)

R - Resistencia total del sistema en (ohms)



$$L_R = \sum L_a + \sum L_b + \sum L_c$$

L_R = Longitud real del conductor enterrado, incluyendo varillas en (m).

En caso contrario rediseñar la red hasta cumplir la condición.

5.- Cálculo de la resistencia de la red de tierras.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

r - Radio equivalente de la superficie de la red de tierras en (m)

A - Area de la red de tierras en (m²).

$$R = \frac{\rho_s}{4r} + \frac{\rho_s}{L_p}$$

R - Resistencia entre la red y tierra en (ohms)

6.- Cálculo del máximo aumento de potencial de la red en caso de falla.

$$E = I_0 R$$

7.- Cálculo del potencial de paso en el piso adyacente a la red.

$$E_s = K_s K_a \rho_s \frac{I_0}{L_R}$$

E_s = Potencial entre los pies de una persona al dar un paso cuando está -
circulando la corriente máxima de falla de la red hacia la tierra en -
(Volts)

K_s = Coeficiente que considera la profundidad de enterrado de la red de --
tierra y el número de conductores transversales de la red.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \dots + \frac{1}{13D} \right]$$

Hasta el número de espacios -
transversales.

K_i - Factor de corrección por irregularidad..

ρ_{s1} - Resistividad del terreno en (ohms - m)

$$E_s < E'_s = \frac{116 + 0.7 \rho_{s2}}{\sqrt{t}}$$

En caso contrario rediseñar la red para que ésta condición se cumpla.

8.- Cálculo de potencial entre piso y elementos conectados a tierra.

Si $L_R \geq L$ se considera que el potencial entre el piso y puntos toca dos con la mano están dentro de los límites aceptables.

Como un ejemplo de aplicación presentamos el cálculo de la red de tierra de la unidad 4 de Salamanca.

1.- Determinación de la corriente máxima de falla a tierra.

a) Características del equipo:

Generador.- 344.44 MVA , 20 KV , F.P. = 0.8 , 3 ϕ

60 cps , 3600 R.P.M.

x_d	= reactancia sincrónica	= 157.0 %
x'_d	= reactancia transitoria	= 28.0 %
$x_1 = x''_d$	= reactancia subtransitoria	= 20.5 %
x_2	= Reactancia de secuencia negativa	= 18.0 %
x_0	= Reactancia de secuencia cero	= 8.5 %

Transformadores Principales.- Tres de 107 MVA c/u.

20 / 230 Kv. 1.5 A. , 60 cps.

% Z = 10.4

Sistema.- En el bus de 230 Kv. La capacidad interruptiva del mismo se considera de 15,000 MVA.

b) Corriente de falla a tierra en el lado de 230 Kv

BASE: 1 MVA.

Reactancias del Sistema:

$$X_{1S} = X_{2S} = X_{0S} = \frac{1 \times 10^1}{15,000} = 0.000\ 066 \%$$

Reactancias de Transformadores Principales:

$$X_{1T} = X_{2T} = X_{0T} = \frac{0.104}{3 \times 10^7} = 0.000\ 324 \%$$

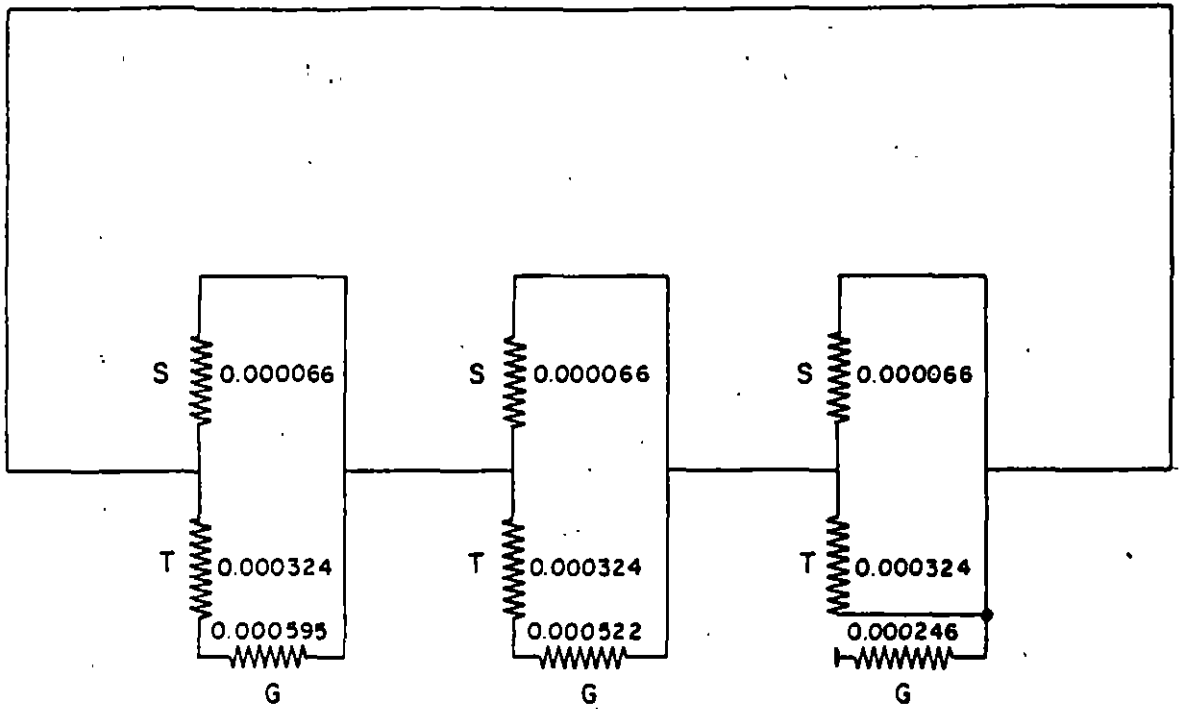
Reactancias del Generador:

$$X_{1G} = X_{d'} = \frac{0.205 \times 1}{344.44} = 0.000\ 595 \%$$

$$X_{2G} = \frac{0.18 \times 1}{344.44} = 0.000\ 522 \%$$

$$X_{0G} = \frac{0.085 \times 1}{344.44} = 0.000\ 246 \%$$

REFERENCIA



Cálculo de x_{1R} , x_{2R} , x_{0R}

$$0.000\ 324 + 0.000\ 595 = 0.000\ 919$$

$$x_{1R} = \frac{0.000\ 919 \times 0.000\ 066}{0.000\ 919 + 0.000\ 066} = 0.000\ 0615$$

$$0.000\ 324 + 0.000\ 522 = 0.000\ 846$$

$$x_{2R} = \frac{0.000\ 846 \times 0.000\ 066}{0.000\ 846 + 0.000\ 066} = 0.000\ 0612$$

$$x_{0R} = \frac{0.000\ 324 \times 0.000\ 066}{0.000\ 324 + 0.000\ 066} = 0.000\ 0548$$

Fórmula para determinar la corriente de falla a tierra:

$$I_G = \frac{3}{X_{1R} + X_{2R} + X_{OR}}$$

Sustituyendo:

$$I_G = \frac{3}{0.000\ 0615 + 0.000\ 0612 + 0.000\ 0548} = 16901.4 \%$$

$$I_G = \frac{16901.4 \times 1000}{\sqrt{3} \times 230} = 42426.2 \text{ Amp}$$

Determinación de la sección del conductor según la siguiente tabla ONDERDONK:

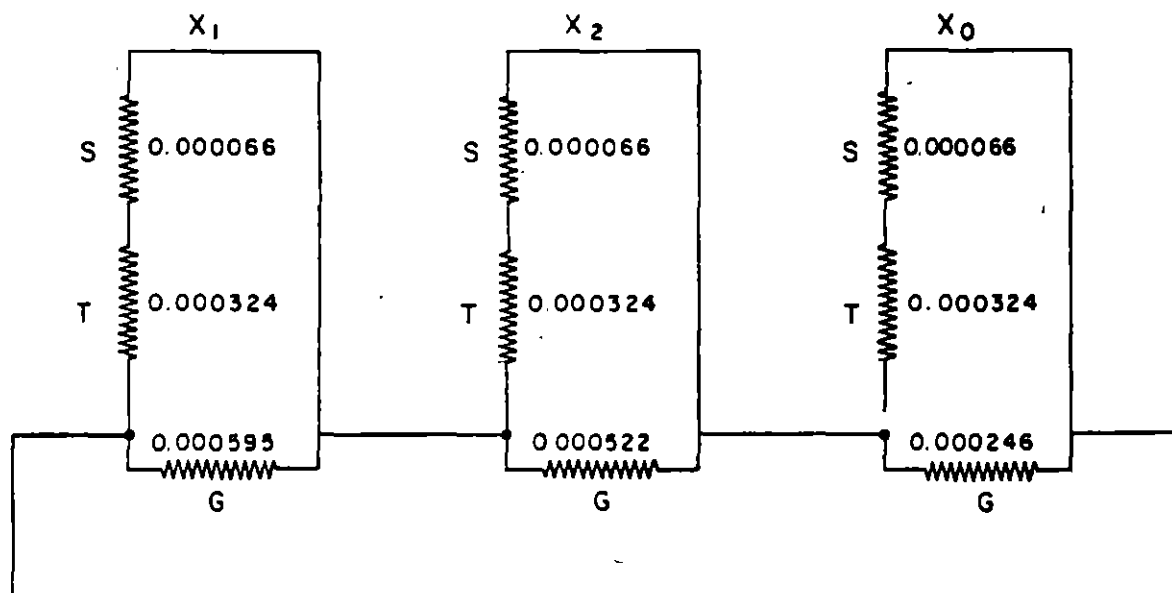
Calibres mínimos para evitar fusión.

DURACION DE LA FALLA EN SEG.	CM / A		
	CABLE	CONEXIONES SOLDADAS.	CONEXIONES MECANICAS.
30	40	50	65
4	14	20	24
1	7	10	12
0.5	5	6.5	8.5

Como se recomendaron juntas soldadas y un tiempo de falla de 0.5-seg., se determinará la sección del conductor con la constante 6.5 CM / A lo que nos da:

$$42426.2 \text{ A} \times 6.5 \frac{\text{CM}}{\text{A}} = 275770 \text{ CM}$$

c) Corriente de falla a tierra en el lado de 20 Kv.



Cálculo de X_{1R} , X_{2R}

$$0.000.066 + 0.000.324 = 0.000.39$$

$$X_{1R} = \frac{0.000\ 39 \times 0.000\ 595}{0.000\ 39 + 0.000\ 595} = 0.000\ 2355$$

$$X_{2R} = \frac{0.000\ 39 \times 0.000\ 522}{0.000\ 39 + 0.000\ 522} = 0.000\ 2232$$

$$I_G = \frac{3}{0.000\ 2355 + 0.000\ 2232 + 0.000\ 246} = 4257.13 \%$$

$$I_G = \frac{4257.13 \times 1000}{3 \times 20} = 122\ 892.76 \text{ A}$$

Como ésta corriente es mayor que la calculada en el lado de 230 Kv, será la que tomaremos en cuenta para el cálculo de nuestro sistema de tierra,

Para determinar el valor de la resistividad emplearemos la siguiente fórmula del D P. WENNER,

$$\rho_s = \frac{4 \pi A R}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}}$$

en donde

ρ_s = resistividad del terreno en Ω -m

R = resistencia por medición en (se obtiene con el Megger)

A = distancia entre electrodos ayacentes en M.

B = profundidad de enterramiento de los electrodos en M.

Dado que se carece de datos se tomó el valor de la resistividad-
igual que el de la Unidad 3 que fué de $6 \Omega\text{-m}$

2.- Diseño Preliminar de la Red de Tierras

De acuerdo con la tabla anterior se toma $6.5 \text{ CM} / \text{A}$ para deter-
minar el calibre

$$S = 6.5 \frac{\text{CM}}{\text{A}} \times 122892 = 798802 \quad \text{C.M.} \quad \begin{array}{l} \text{Calibre inmediata-} \\ \text{mente superior.} \\ 1000 \text{ MCM } d = 0.029 \end{array}$$

Residencia de Salamanca pidió un calibre de 750 M.C.M. con el --
propósito de utilizar el material existente,

Por lo tanto se tiene un diámetro de $0.0253 \text{ m. } (0.997")$.

El diámetro está en función con la longitud del conductor (L) y -
del coeficiente que toma en cuenta conductores de la malla en cuanto a núme-
ro, calibre, y disposición (km) tenemos que diseñar un arreglo tal que cum --
pla con éstas condiciones.

Tenemos:

$$L = \frac{K_m \times K_l \times \rho_o \times I_{cc} \times \sqrt{t}}{(\text{M})}$$

$$116 + 0.17 \rho_s$$

En donde:

, L : longitud total del conductor enterrado en metros, -
incluyendo varillas.

K_m : coeficiente que toma en cuenta los conductores de la
malla en cuanto a números, calibre y disposición.

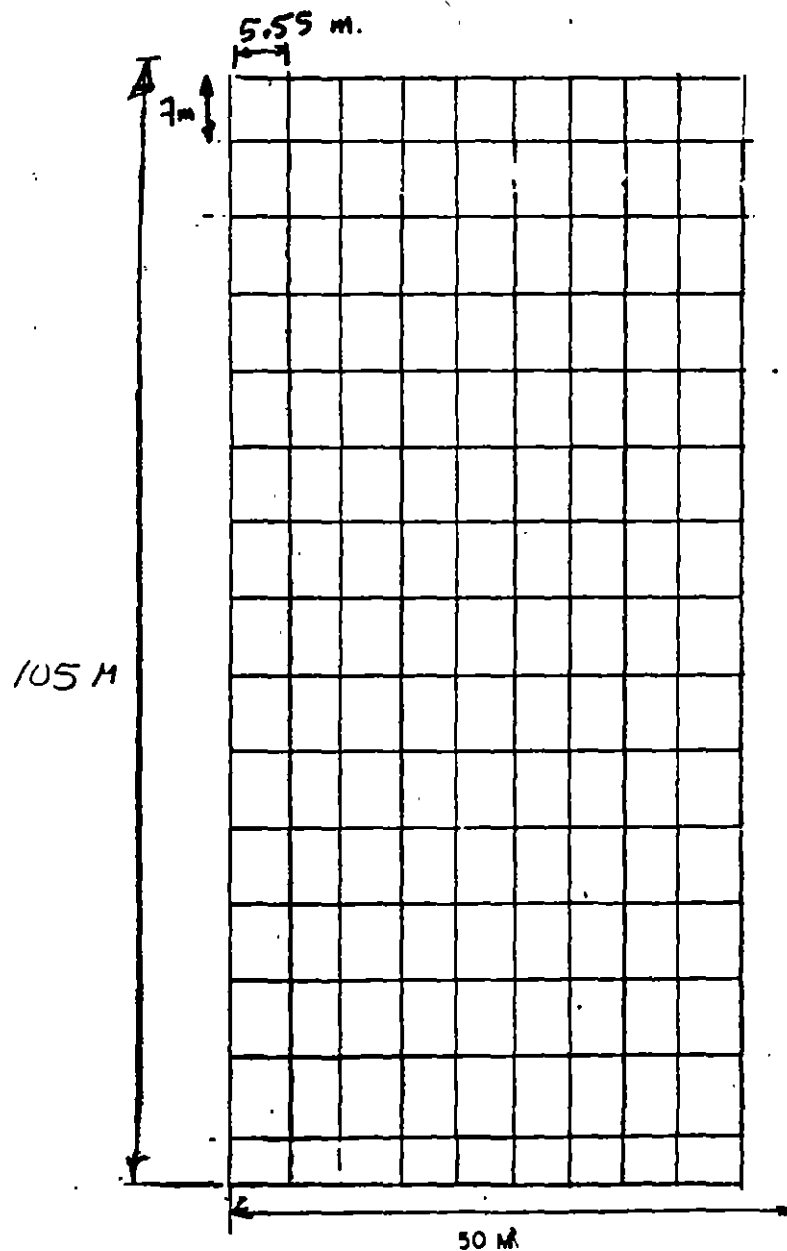
$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \right) \left(\frac{5}{6} \right) \left(\frac{7}{8} \right) \dots$$

En donde:

D : separación entre conductores de la malla en metros (8 metros).

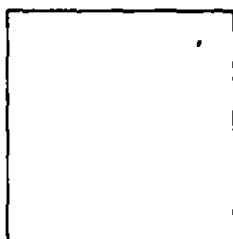
d : diámetro de los conductores que forman la malla = 0.0253 metros

h : profundidad a la que se entierra la red = 0.60 metros.



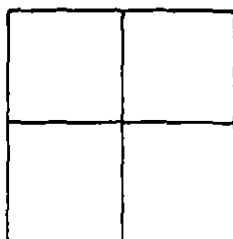
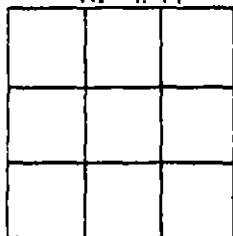
$$\begin{aligned}
 50 \times 16 &= 100 \text{ M} \\
 105 \times 10 &= 1050 \text{ M} \\
 36 \times 3 &= 108 \text{ M} \\
 \hline
 L &= 2000 \text{ M}
 \end{aligned}$$

K_i : Factor de corrección por irregularidades, toma en cuenta la -
distribución irregular del flujo de corrientes a tierra.



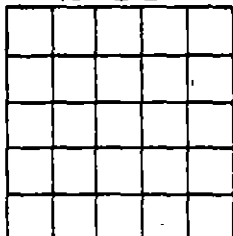
$K_i = 1.00$

$K_i = 1.47$



$K_i = 1.16$

$K_i = 2.21$



Factor K_i sugerido por
Walter Koch.

: resistividad promedio del terreno = $6 \Omega \cdot M$

: corriente eficaz máxima que fluirá de la red en conjunto, hacia la tierra,
afectada por el factor de decremento D y el factor de ampliación A .

$$I_{cc} = I \times A \times D.$$

Factor de ampliación $A = 1.00$

Factor de decremento D :

Duración de la falla en ciclos	D
$\frac{1}{2}$	1.65
6	1.25
15	1.10
30 ó más	1.00

$$I_{cc} = 122\,892.76 \times 1 \times 1 = 122\,892.76 \text{ A.}$$

ρ_s = Resistividad del terreno que tocan los pies.
 = 1000 Ω -M (para concreto armado).

Como la malla tiene un espaciamiento uniforme, se puede hacer la determinación empírica del número de términos de la fórmula de Km.

$$n = 16 - 2 = 14 \text{ términos.}$$

Por lo tanto:

$$K_m = 0.1591549 L_n \frac{3^2}{16 (0.6) (0.0253)} + 0.3183099 L_n \left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{5}{4}\right) \left(\frac{7}{8}\right) \left(\frac{9}{10}\right) \left(\frac{11}{12}\right) \dots \left(\frac{23}{30}\right)$$

(14 términos)

$$K_m = 0.159154 \times 5.5740709 + 0.3183099 L_n 0.2889$$

$$K_m = 0.4919$$

El tiempo $t = 0.5 \text{ seg.}$

$$K_i = 2.21$$

Por lo tanto

$$L = \frac{0.4919 \times 2.21 \times 6 \times 122\,892.76 \times \sqrt{0.5}}{116 + 0.17 \times 1000}$$

$$L = 1981 \text{ M.}$$

La longitud obtenida debe ser menor que la indicada en el arreglo

$$1981 < 2000 \text{ m.}$$

En los cálculos anteriores, podemos ver que el diámetro que se utilizó (0.0253) el cual corresponde a 750 MCM, cumplen con todas las condiciones para nuestro arreglo en cuanto a longitud y separación entre conductores.

4.- CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRAS.

Para éste cálculo se determinará primero el radio de un círculo cuya superficie sea igual a la superficie total encerrada por la red.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

en donde

r = radio del círculo

A : superficie encerrada por la malla

$$50 \times 105 = 5250 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{5250}{3.14}} = 40.88 \text{ M}$$

Para el cálculo de la resistencia de la red, se aplica la siguiente

te fórmula:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$\xrightarrow{\quad}$ Longitud

Sustituyendo:

$$R = \frac{6}{4 \times 40.88} + \frac{6}{2000} = 0.0397 (\text{ohms})$$

CALCULO DEL MAXIMO AUMENTO DE POTENCIAL DE LA RED EN CASO DE FALLA,

Aplicando la fórmula

$$E = IR$$

y teniendo $I = 122\ 892.76$ Amp.

$$R = 0.0397 \text{ ohms.}$$

resulta $E = 122892.76 \times 0.0397 = 4878$ Volts.

6.- CALCULO DEL POTENCIAL DE PASO EN EL PISO ADYACENTE A LA RED.

Esté cálculo se hará con la siguiente fórmula

$$E_s = K_s \times K_i \times \rho \times \frac{I}{L}$$

en donde

E_s : Potencial entre los pies de una persona al dar un paso cuando es tá circulando la corriente máxima de la falla de la red hacia la tierra.

K_s : Coeficiente que considera a que profundidad está enterrada la red, en metros y el número de conductores transversales de la red (n).

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} \dots \frac{1}{15D} \right]$$

hasta el número de espacios transversales.

donde h : profundidad de enterramiento (0.60 mts.)

D : espacio longitudinal (7 mts.)

Sustituyendo valores

$$K_s = \frac{1}{3.14} \left[\frac{1}{2 \times 0.60} + \frac{1}{7 + 0.60} + \frac{1}{2 \times 7} + \frac{1}{3 \times 7} + \dots + \frac{1}{15 \times 7} \right]$$

$$= 0.41256 \quad (0.041256)$$

Por lo tanto

$$E_s = 0.4183176 \times 2.21 \times 6 \times \frac{122892.76}{2000} = 336 \text{ volts.}$$

Voltaje máximo permisible entre pies sobre el piso.

Para concreto armado

$$E'_s = \frac{116 + K_s}{\sqrt{t}} = \frac{116 + \overset{0.7}{1000}}{\sqrt{0.5}} = 1153 \text{ volts.}$$

$$E_s < E'_s$$

si $E_s > E'_s$ se rediseña la red aumentando (L)

7.- CALCULO DE POTENCIAL ENTRE PISOS Y ELEMENTO CONECTADO A TIERRA.

Si la longitud del cable usado es igual ó mayor que la calculada, se considera que los voltajes entre el piso y el punto tocado con la mano esta dentro de los límites aceptables.

De acuerdo con la figura del terreno, tenemos que (L) = 2000 Mts.
(2000 m)
Se incluyen 50 varillas de 3.0 mts. cada una:

Esta longitud es mayor que la calculada, por lo tanto cumple con lo anotado al principio de éste inciso.

8.- Verificación de las condiciones de seguridad.

Para que la red diseñada sea considerada como segura, se deberá cumplir la siguiente fórmula

$$\frac{K_m \times K_i \times P \times I_{cc} \times \sqrt{t}}{L} - 0.17 P_s < 116$$

Sustituyendo valores, tenemos:

$$\frac{0.4919 \times 2.21 \times 6 \times 122892.76 \times \sqrt{0.5}}{2000} - 0.17 \times 1000 = 113.4$$

$$113.4 < 116$$

Al cumplirse la fórmula podemos decir que la red diseñada está dentro de los límites de seguridad.

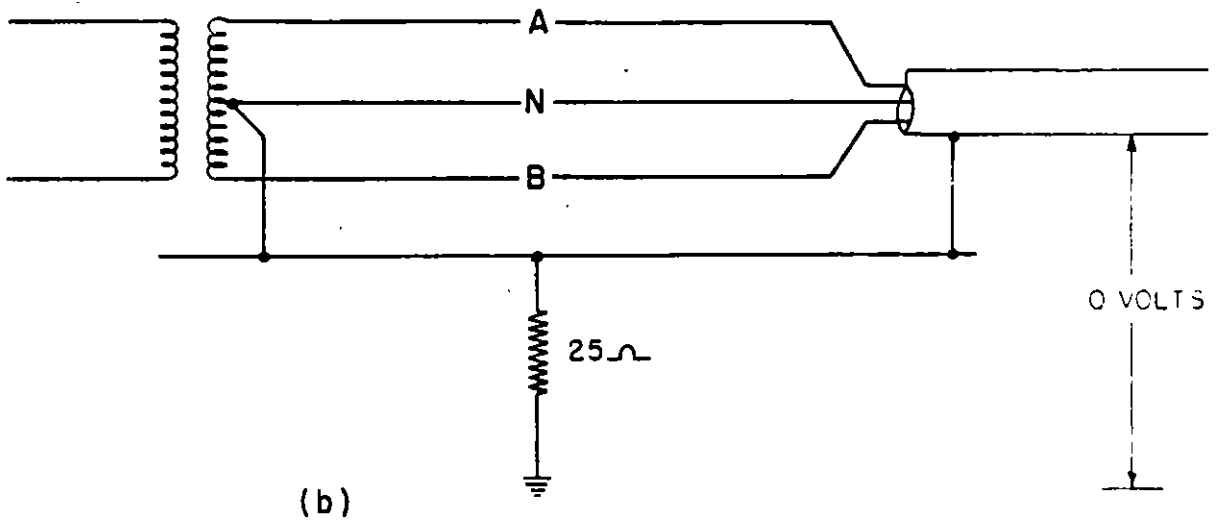
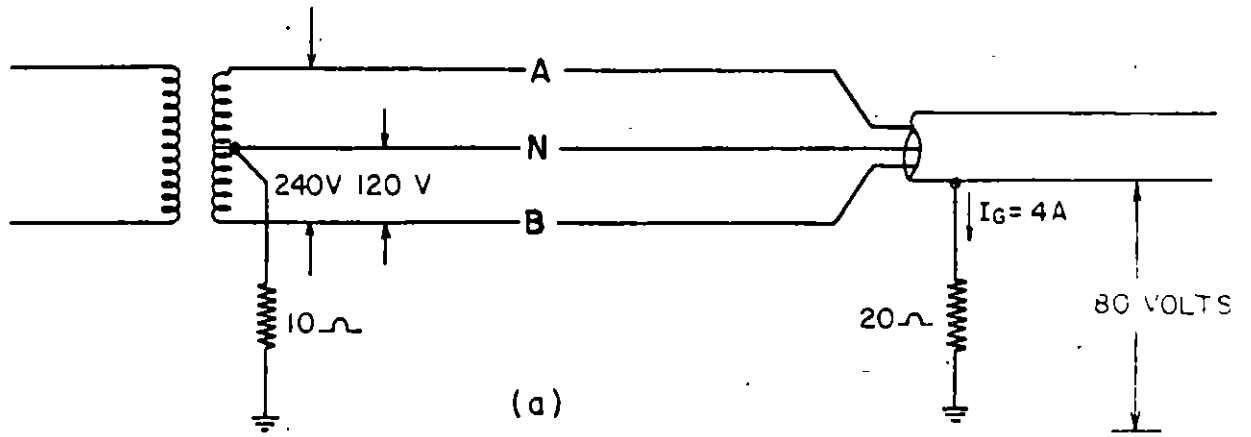
7.3 ATERRIZAMIENTO DE EQUIPO

Los propósitos principales por los que las canalizaciones o -- estructuras metálicas que conducen conductos energizados deben estar inter conectadas a un sistema de tierras son:

- 1.- Mantener una diferencia de potencial baja entre las partes metálicas cercanas dentro de una determinada área y asegurar que el personal que allí se encuentre no corra peligro de sufrir descargas eléctricas.
- 2.- Proveer de un camino efectivo las corrientes de falla a - tierra las cuales deberán fluir sin evidencia de los esfuerzos térmicos, los cuales son peligrosos y pueden ocasionar incendios de material combustible o por presencia de gases en la atmósfera.

Por lo tanto, Todas las canalizaciones y cubiertas metálicas - de conductores o equipos, armazones de motores, et, Deberán ser puestos a - tierra para satisfacer los requerimientos anteriores.

En caso de una falla de aislamiento a lo largo de un conductor de un circuito eléctrico, entre el conductor energizado y alguna porción metálica (Tubo, Conduit o Charola), si la parte metálica no fué apropiadamente aterrizada, podría existir un potencial de suficiente magnitud tal que genere daños por descargas eléctricas a quienquiera que toque dichas - partes.



La importancia de un circuito metálico continuo de baja resistencia para canalizar las corrientes de falla, se explica en la figura anterior (A). En ella se muestra el neutro del transformador conectado a tierra -- por medio de un electrodo que tiene una resistencia de 10Ω a tierra, el tubo conduit está conectado a otro electrodo separado, el cual tiene 20Ω a tierra. Una falla ocurre entre el conductor B y el Conduit

$$\text{Corriente de falla} = \frac{120}{20 + 10} = 4 \text{ A}$$

Caída de potencial de Conduit a tierra será:

$$4 \times 20 = V = 80 \text{ Volts.}$$

En cambio en la figura (B), tanto el neutro del transformador como el tubo conduit, están conectados a una red de tierra común, la que es conectada a tierra a través de un electrodo que tiene 25Ω de resistencia.

Lo anterior no infiere que un potencial de 80 volts necesariamente sea fatal, sino que como ejemplo se ilustra el hecho de una inadecuada puesta a tierra puede ocasionar diferencias de potencial que provocarían daños funestos, sobre todo a las personas.

De acuerdo a estadísticas, los accidentes en la Industria Eléctrica, indican que un gran número de personas se han lesionado como resultado de recibir "SHOCK" eléctrico al entrar en contacto con partes metálicas que normalmente no están energizadas o se suponía que estaban desenergizadas.

Así mismo, uno de cada siete incendios en diferentes establecimientos fueron oroginados en el sistema eléctrico, por ello, un desarrollo y adopción de prácticas más efectivas en el aterrizamiento de equipo harían disminuir los riesgos por incendio.

" Factor de suma importancia para la seguridad del personal en plantas industriales, es el aterrizamiento adecuado del propio equipo".

" Conecte a una misma red de tierras, todas las partes metálicas por donde pasan conductores energizados, tubo coduit, charolas, cables con armadura metálica, cajas de conecciones, gabinetes, carcaza de motores, del transformador, etc. Todo aquello que encierre equipo eléctrico o sirva para operar eléctricamente un equipo".

DEFINICIONES:

Electródo de Tierra.- es un conductor embebido en tierra, usado para mantener al potencial de tierra, los conductores conectados al electródo, y para disipar en la tierra todas las corrientes a ella conducidas.

Red de Tierras.- es una red de conductores desnudos enterrados, usada para establecer un potencial uniforme dentro y alrededor de un establecimiento cualquiera. Debe quedar ligado sólidamente a los electródos de tierra.

Conductor de tierra.- es usado para conectar a la red de tierra las carcazas de los equipos, canalizaciones o partes metálicas por donde pasan circuitos energizados.

Cálculo de los conductores de tierra por corriente.- queda determinado por la magnitud de la corriente y el equipo de falla, empleándose las siguientes fórmulas.

Cuando el BUS tenga conexiones ensambladas o empalmadas, considerando una temperatura inicial de 26°C

$$A = 10.6 \sqrt{I^2 S}$$

Si las conexiones son soldadas a temp. inicial de 26 °C

$$A = 8.7 \sqrt{I^2 S}$$

A = sección del conductor en CM

I = corriente de falla en A

S = tiempo de flujo en seg.

En sistemas con neutro aterrizado, la corriente y el tiempo de flujo queda determinado por la impedancia. Normalmente el tiempo está entre 10 y 60 seg.

En sistemas no aterrizados la corriente de falla es aproximadamente igual a la corriente de línea a línea.

En sistemas sólidamente aterrizados, la corriente de falla es -
aproximadamente igual a la corriente de falla trifásica.

Además de las consideraciones teóricas existen limitaciones -- prácticas que finalmente pueden determinar el tamaño máximo o mínimo de la red de tierra, ya que por esfuerzos mecánicos no debe ser menor a un conductor de No. 2 / 0 AWG y usualmente no es necesario que sea mayor de 500 - MCM, para grandes estaciones, y del No. 4 / 0 AWG, para pequeñas estaciones o plantas industriales.

RESISTENCIA DE LA RED A LA TIERRA FISICA.

En grandes estaciones no debe exceder de 1Ω

En pequeñas estaciones o plantas industriales no debe ser mayor de 5Ω

Para clientes residenciales debe aterrizar el neutro a tubería de agua, la cual proporciona una conexión a tierra de baja resistencia (aproximadamente 3) y donde ello no sea posible, utilizar un electrodo, pero la resistencia a tierra no exceda 25.

Aterrizamiento de equipo en tableros eléctricos.

Deberá ser instalado en los tableros, un BUS de tierra como complemento de los mismos.

Los tableros o estructuras que contengan equipos primarios tales

como:

Transformadores de corriente, transformadores de potencial, --- interruptores de potencia, desconectores, relevadores, instrumentos de medición, et., tal que todos ellos requieren aterrizarse, y que son considerados adecuadamente aterrizados a través de su montaje sobre la estructura, - siempre y cuando cada una de éstas estructuras, paneles o soportes metálicos estén conectados al BUS de tierras en forma individual. El BUS de tierra, - por lo menos será capaz de conducir un 25 % de la más alta corriente nominal en el tablero, generalmente es usada una barra de cobre de 2" x 1/4 " , -- éste BUS por supuesto estará interconectado adecuadamente al BUS general de tierras.

Consideraciones Generales.

10.- Los conductores de tierra deben protegerse cuando estén expuestos a daño mecánico, deben tener continuidad, desde el equipo por aterrizar hasta el BUS de tierra.

20.- El calibre del BUS de tierra en corriente alterna, no será menor que a los que a continuación se indican en la siguiente tabla.

TABLA : Calibre de la red principal de tierras (para acometidas)

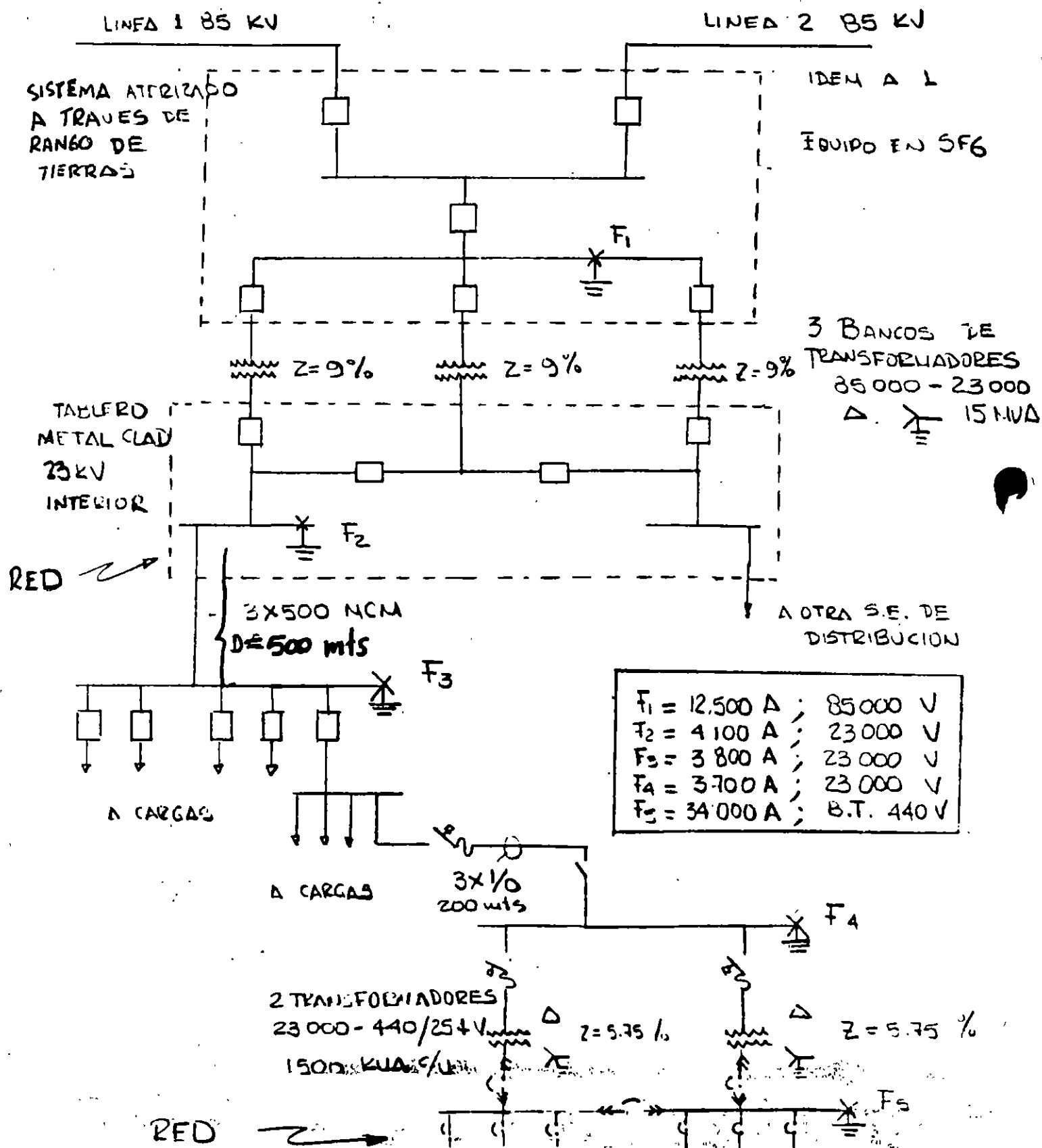
ACOMETIDA * (AWG O MCM) MATERIAL COBRE.	BUS DE TIERRA (AWG O MCM) MATERIAL COBRE.
2 o menor	8
1 / 0	6
2 / 0 a 3/0	4
4/0 a 350	2
400 a 600	1 / 0
600 a 1100	2 / 0
1100 a más	3 / 0

* 0 Alimentador Principal.

Calibre de los conductores para puesta a tierra de
equipos y canalizaciones interiores.

Capacidad nominal o ajuste del dispositivo de protección con- tra sobrecorriente ubicado an- tes del equipo, conductor, etc.	Calibre del conductor a tierra. (AWG o MCM)	
	Cobre	Aluminio
15	14	12
20	14	12
30	12	10
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
400	4	2
600	2	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 MCM
1600	4/0	350 "
2000	250 MCM	400 "
2500	350 "	500 "
3000	400 "	600 "
4000	500 "	800 "
5000	700 "	1000 "
6000	800 "	1200 "

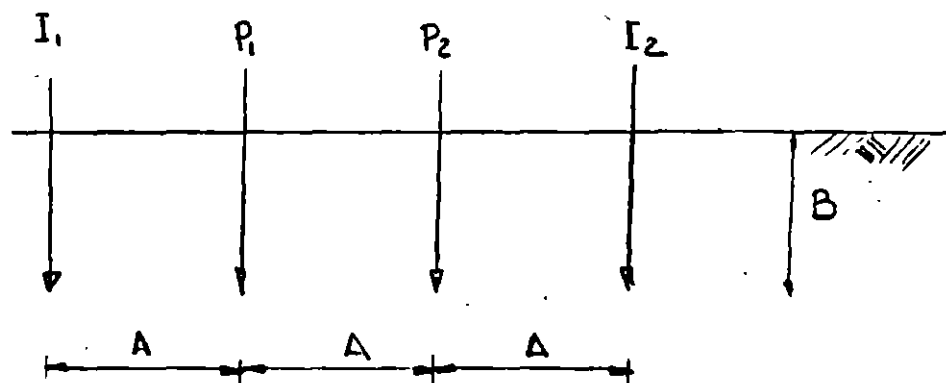
DIAGRAMA UNIFILAR DEL EJEMPLO DE CALCULO DE LA RED DE TIERRAS



DATOS GENERALES PARA EL EJEMPLO DE CALCULO DE LA RED DE TIERRAS

- RESISTIVIDAD DEL TERRENO : VER TABLA ANEXA; LOS RESULTADOS DE ELLA PUEDEN GENERALIZARSE PARA TODA LA PLANTA
 - RESISTIVIDAD DEL CONCRETO: $1000 \Omega\text{-mto.}$
 - PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO DE LA RED : 0.5 mto.
 - CONFIGURACION DE LA RED EN S.E. 85/23 KV (VER PLANO ANEXO) AREA PROPUESTA DE 350 m^2
 - DISTRIBUCION DE PLANTA EN S.E. 23000/440 V. VER CROWIS ANEXO
 - TIEMPO EN QUE SE LIBRA LA FALLA : 0.5 seg PARA 85, 23 y B.T (POR SIMPLICIDAD)
 - FACTOR DE AMPLIACION DEL SISTEMA : 1.0
-
- SE PROPONE :
 - 1° EVALUAR LA RED PRINCIPAL EN LA S.E. DE 85/23 KV
 - 2° PROPONER Y EVALUAR UNA RED EN LA S.E. DE 23000/440 V

LECTURAS DE RESISTIVIDAD



FORMULA CON LA QUE SE CALCULO LA RESISTIVIDAD

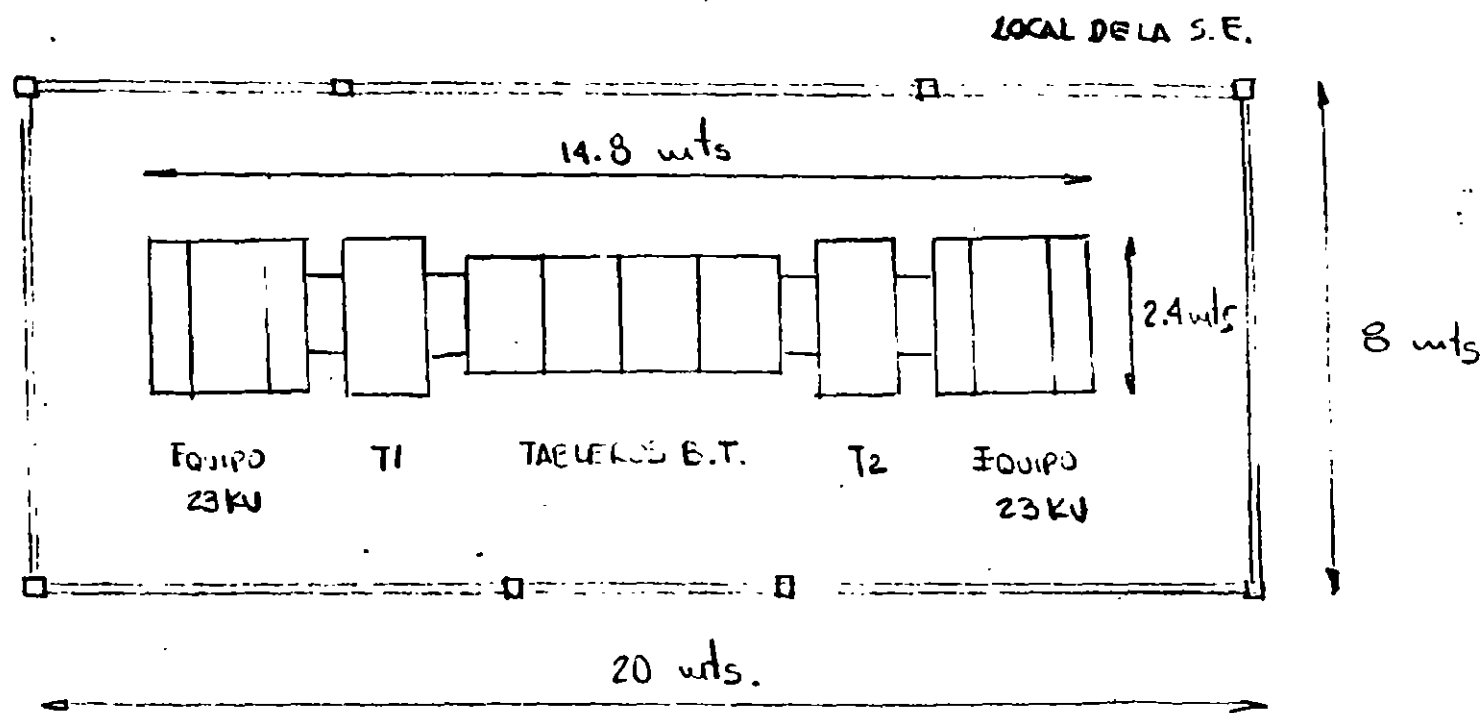
$$\rho = \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}}$$

7-49

LEVANTAMIENTO DE RESISTIVIDAD EN LA PLANTA
DEL EJEMPLO (VER PLANO ADJUNTO PARA UBICACION DE LA LECTURA)

SEPARACION A (m)	PROFUNDIDAD B (m)	LECTURAS Nº 1		LECTURAS Nº 2		LECTURAS Nº 3		LECTURAS Nº 4	
		R Ω	ρ Ω/m	R Ω	ρ Ω/m	R Ω	ρ Ω/m	R Ω	ρ Ω/m
1.0	0.25	1.6	11.05	2.4	16.58	2.2	15.73	2.2	15.73
1.5	0.25	0.8	7.89	1.3	12.82	0.89	8.94	1.0	10.0
2.0	0.25	0.6	7.74	0.77	9.93	0.6	7.82	0.65	8.47
2.5	0.25	0.5	7.989	0.48	7.66	0.4	6.438	0.45	7.24
3.0	0.25	0.4	7.63	0.38	7.24	0.27	5.32	0.33	6.32

CROQUIS DE LA S.E. DE 23 000 - 440/254 V



ESCALA 1:100

EJEMPLO SISTEMA DE TIERRAS

A.- SUBESTACION PRINCIPAL 85/23 KV

1° $I_{cc} = 12\ 500\ A$ (LADO 85 KV)

2° CONEXION SOLDADA
DURACION FALLA 0.5 SEG. $\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} CM/A = 6.5$

$$S = 6.5 \times 12\ 500 = 81\ 250\ CM$$

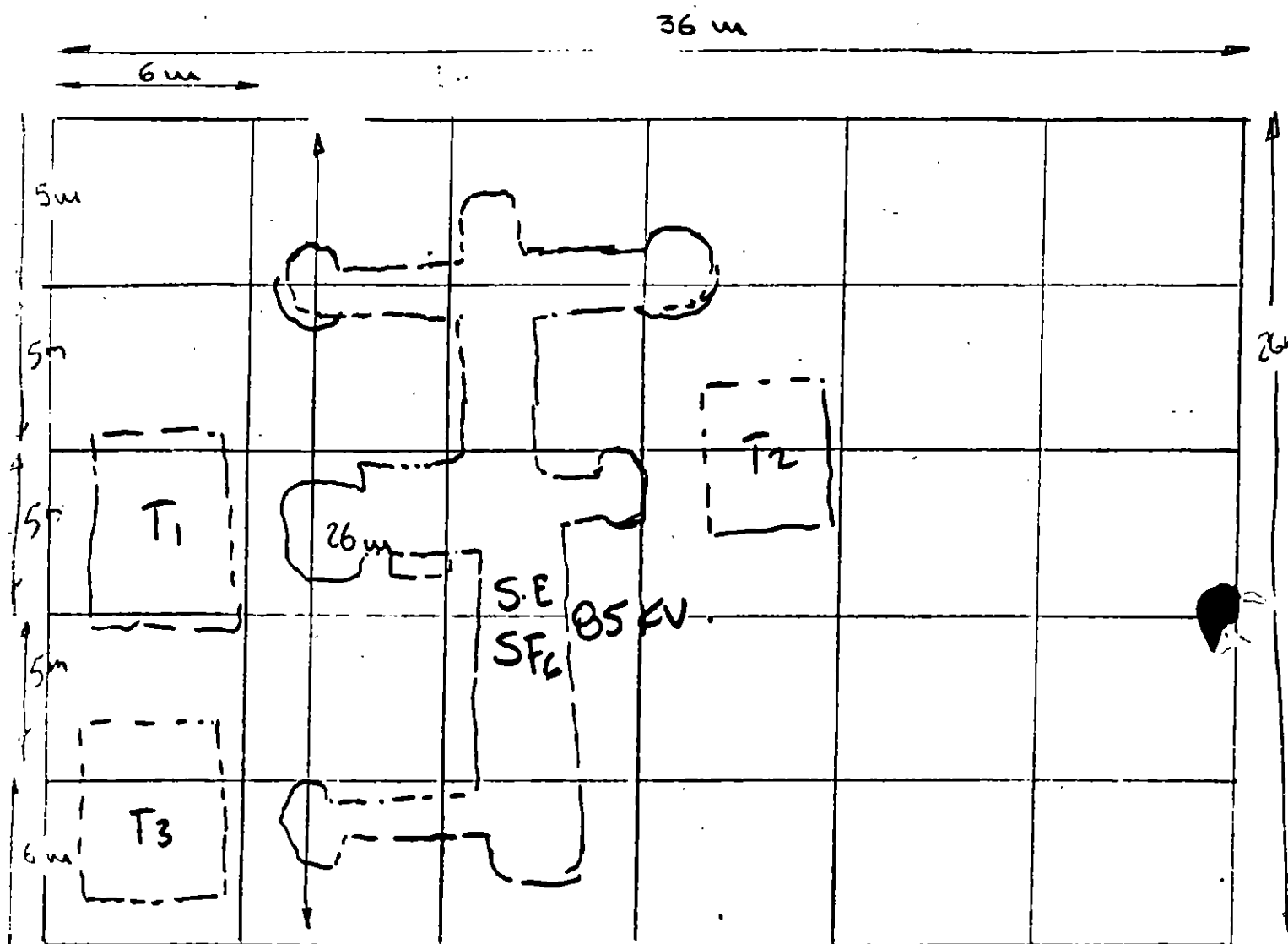
$$81\ 250 \times 0.00051 = 41.44\ mm^2 \quad \text{CALIBRE 1}$$

POR NORMAS SE USARA CALIBRE 4/0

3° $P_{s1} = 16.58\ \Omega - m$

$$P_{s2} = 1000\ \Omega - m$$

4° SE PROPONE EVALUAR LA SIGUIENTE RED !



$$\text{AREA} = 36 \times 26 = 936 \text{ m}^2$$

$$L_R = 6 \times 36 + 7 \times 36 + 42 \times 3 = 524 \text{ m}$$

$$L = \frac{K_m K_i P_{s1} I_{cc} \sqrt{t}}{116 + 0.17 P_{s2}}$$

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

$$D = 6 \text{ m}$$

$$N^{\circ} \text{ DE FACTORES} = 7 - 2 = 5$$

$$h = 0.5 \text{ m}$$

$$d = 1.33 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{CABLE 4/0})$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{6^2}{16 \times 0.5 \times 1.33 \times 10^{-2}} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \right) \left(\frac{5}{6} \right) \left(\frac{7}{8} \right) \left(\frac{9}{10} \right) \left(\frac{11}{12} \right)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln 338 + \frac{1}{\pi} \ln 0.4511$$

$$K_m = 0.926 - 0.2533 = 0.673$$

~~SE ASUME UN VALOR DE $K_i = 2.21$~~

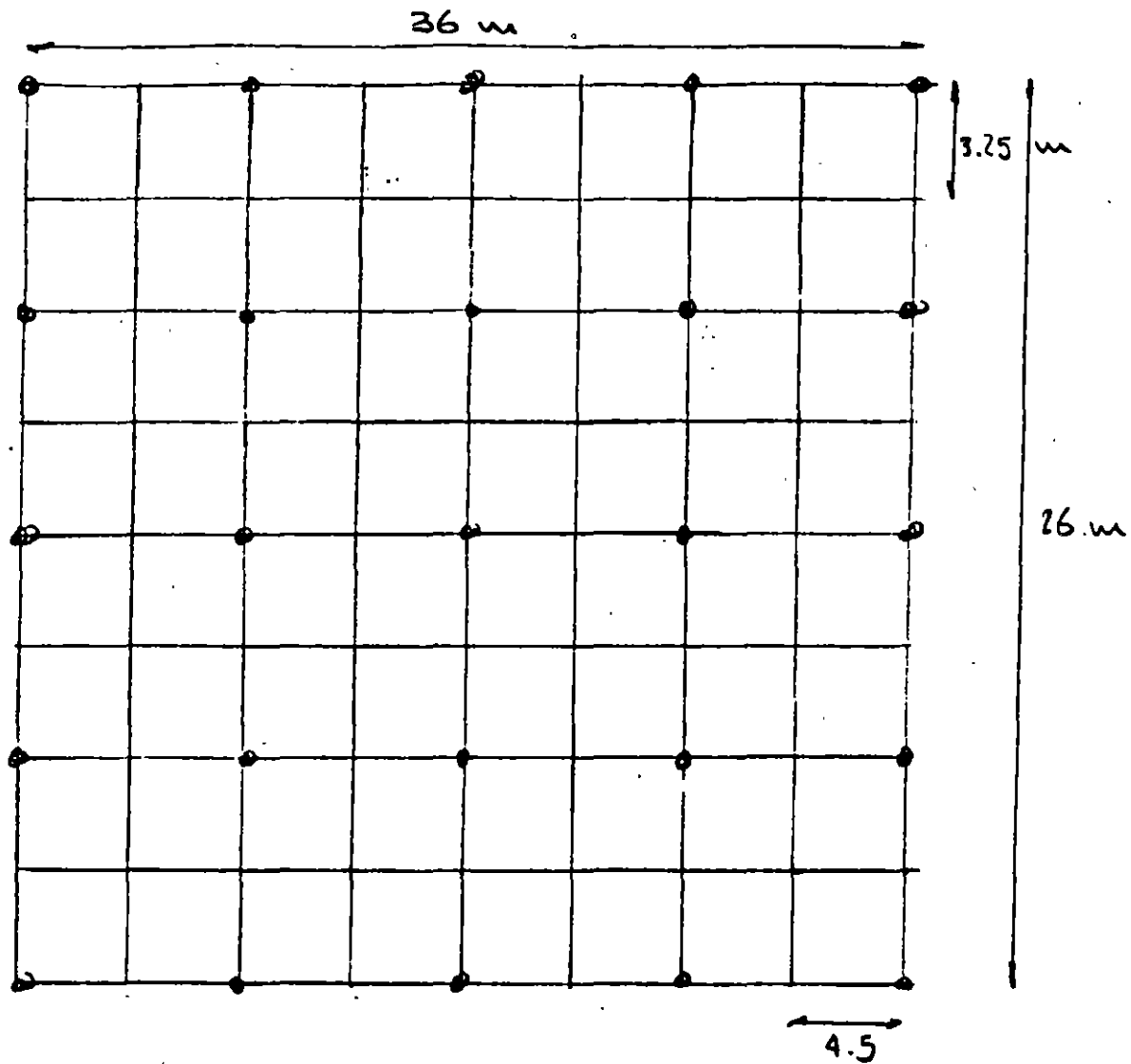
$$L = \frac{(0.673)(2.21) \times (16.58)(12,500)(\sqrt{0.5})}{116 + 0.17 \times 1000}$$

$$L = 762 \text{ m}$$

$L_R < L \Rightarrow$ LA RED DEBE REDISEÑARSE

SE PROPONE LA SIGUIENTE RED

7-54



$$L_R = 36 \times 9 + 26 \times 9 + 25 \times 3 = 633 \text{ m}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(45)^2}{16 \times 0.5 \times 1.33 \times 10^{-2}} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \right) \left(\frac{5}{6} \right) \left(\frac{7}{8} \right) \left(\frac{9}{10} \right) \left(\frac{11}{12} \right) \left(\frac{13}{14} \right) \left(\frac{15}{16} \right)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln 190.3 + \frac{1}{\pi} \ln 0.3928$$

$$K_m = 0.5379$$

$$K_i = 2.21$$

$$L = \frac{(0.5379)(2.21)(16.58)(12.500)(\sqrt{0.5})}{116 + 0.17 \times 1000} = 609 \text{ m}$$

$$L_R > L \quad (633 > 609 \text{ m})$$

LA RED ES ADECUADA

$$5^\circ \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{936}{\pi}} = 17.26 \text{ m}$$

$$R = \frac{\rho_{s1}}{4r} + \frac{\rho_{s1}}{L_R} = \frac{16.58}{4 \times 17.26} + \frac{16.58}{633}$$

$$R = 0.266 \text{ } \Omega$$

$$6^\circ \quad E = I_{cc} \times R = 12500 \times 0.266$$

$$E = 3325 \text{ Volts}$$

$$7^\circ \quad E_s = K_s K_i \rho_{s1} \frac{I_{cc}}{L_R}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2n} + \frac{1}{D+n} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \frac{1}{5D} + \frac{1}{6D} + \frac{1}{7D} + \frac{1}{8D} \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{4.5 + 0.5} + \frac{1}{2 \times 4.5} + \dots + \frac{1}{8 \times 4.5} \right]$$

$$K_s = 0.5035$$

$$K_i = 2.21$$

$$E_s = 0.5035 \times 2.21 \times 16.58 \times \frac{12500}{633}$$

$$E_s = 364.3 \text{ VOLTS}$$

$$E'_s = \frac{116 + 0.7 \rho_{s2}}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.7 \times 1000}{\sqrt{0.5}} = 1153 \text{ VOLTS}$$

$$E_s < E'_s \quad \left(\text{LA RED ES SEGURA EN LA PERIFERIA} \right)$$

B. - SUBESTACION DE DISTRIBUCION 23000/440 V

$$1^{\circ} \quad I_G = 3700 \text{ A} \quad (\text{LADO } 23 \text{ KV})$$

$$I_G = 34000 \text{ A} \quad (\text{LADO } 440 \text{ V})$$

$$2^{\circ} \quad \left. \begin{array}{l} \text{CONEXION SOLDADA} \\ \text{DURACION FALLA } 0.5 \text{ seg.} \end{array} \right\} \text{CM/A} = 6.5$$

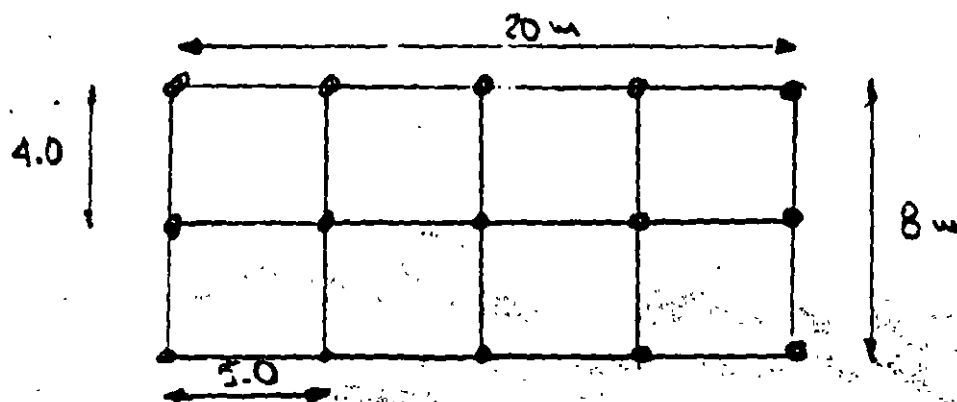
$$S = 6.5 \times 34000 = 221000 \text{ CM} \quad (112.71 \text{ mm}^2)$$

SE PUEDE USAR CONDUCTOR 4/0 (211,600 CM 5% MENOS DE LO CALCULADO)

$$3^{\circ} \quad P_{s1} = 16.58 \text{ } \Omega\text{-m}$$

$$P_{s2} = 1000 \text{ } \Omega\text{-m.}$$

4.° RED SUGERIDA . SE EVALUA A CONTINUACION



$$A_{KTA} = 8 \times 20 = 160 \text{ m}^2$$

$$L_R = 20 \times 3 + 5 \times 8 + 15 \times 3 = 145 \text{ m}$$

$$L = \frac{K_m K_i P_{s1} I_{cc} \sqrt{T}}{116 + 0.17 P_{s2}}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \right) \left(\frac{5}{6} \right) \left(\frac{7}{8} \right) \dots \text{ n terminos}$$

$$D = 5 \text{ m}$$

$$d = 1.33 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{CABLE 4/0})$$

$$h = 0.5 \text{ m} \quad (\text{PROFUNDIDAD})$$

$$n = 5 - 2 = 3 \text{ FACTORES}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(5)^2}{16 \times 0.5 \times 1.33 \times 10^{-2}} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \right) \left(\frac{5}{6} \right) \left(\frac{7}{8} \right)$$

$$K_m = 0.869 + (-0.192)$$

$$K_m = 0.677$$

$$K_i = 1.47$$

$$L = \frac{0.677 \times 1.47 \times 16.58 \times 3700 \sqrt{0.5}}{116 + 0.17 \times 1000}$$

$$L = 151 \text{ m}$$

SE SUGIERE AGREGAR 3 VARILLAS MAS A LA RED PROPUESTA (SE PODRIAN AGREGAR EN EL PUNTO DE ATERIZAJAMIENTO DE LOS EQUIPOS), ASI LR SERIA

$$L_R = 145 + 3 \times 3 = 154 \text{ m}$$

Y SE CUMPLIRA QUE :

$$L < L_R \quad (151 < 154 \text{ m})$$

$$5^\circ \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{160}{\pi}} = 7.14 \text{ m}$$

$$R = \frac{P_{s1}}{4r} + \frac{P_{s1}}{L_R} = \frac{16.58}{4 \times (7.14)} + \frac{16.58}{154}$$

$$R = 0.688 \, \Omega$$

$$6^\circ \quad E = I_{cc} R = 3700 \times 0.688 = 2546 \text{ VOLTS}$$

$$7^\circ \quad E_s = K_s K_i P_{s1} \frac{I_{cc}}{L_R}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2n} + \frac{1}{D+n} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{5 + 0.5} + \frac{1}{2 \times 5} + \frac{1}{3 \times 5} + \frac{1}{4 \times 5} \right]$$

$$K_s = 0.445$$

$$K_i = 2.21 \quad (\text{SUGERIDO PARA VOLTAGE DE PASO})$$

$$E_s = 0.445 \times 2.21 \times 1658 \times \frac{3700}{154}$$

$$E_s = 392 \text{ VOLTS}$$

$$E'_s = \frac{116 + 0.7 P_{s2}}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.7 \times 1000}{\sqrt{0.5}} =$$

$$E'_s = 1154 \text{ VOLTS}$$

$$E_s < E'_s \quad (392 < 1154 \text{ VOLTS}) \Rightarrow \text{LA RED ES}$$

SEGURA EN LA PERIFERIA