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

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

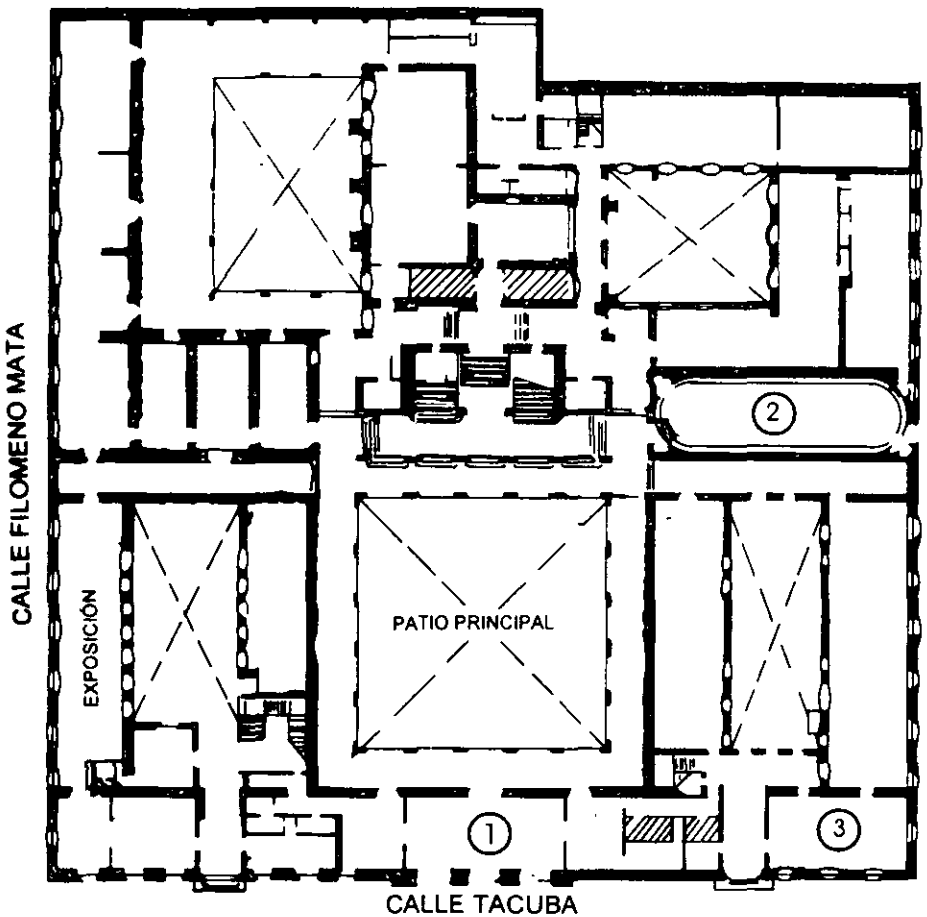
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

Atentamente

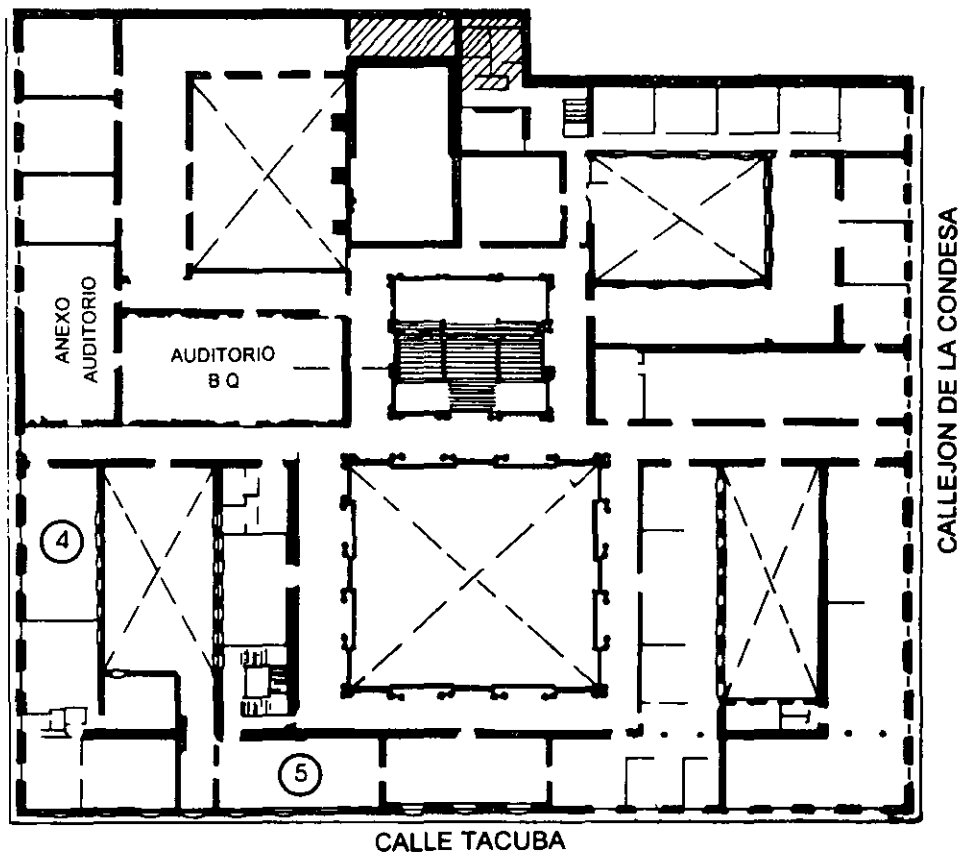
División de Educación Continua.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285
Teléfonos: 5512-8955 5512-5121 5521-7335 5521-1987 Fax 5510-0573 5521-4021 AL 25

PALACIO DE MINERIA

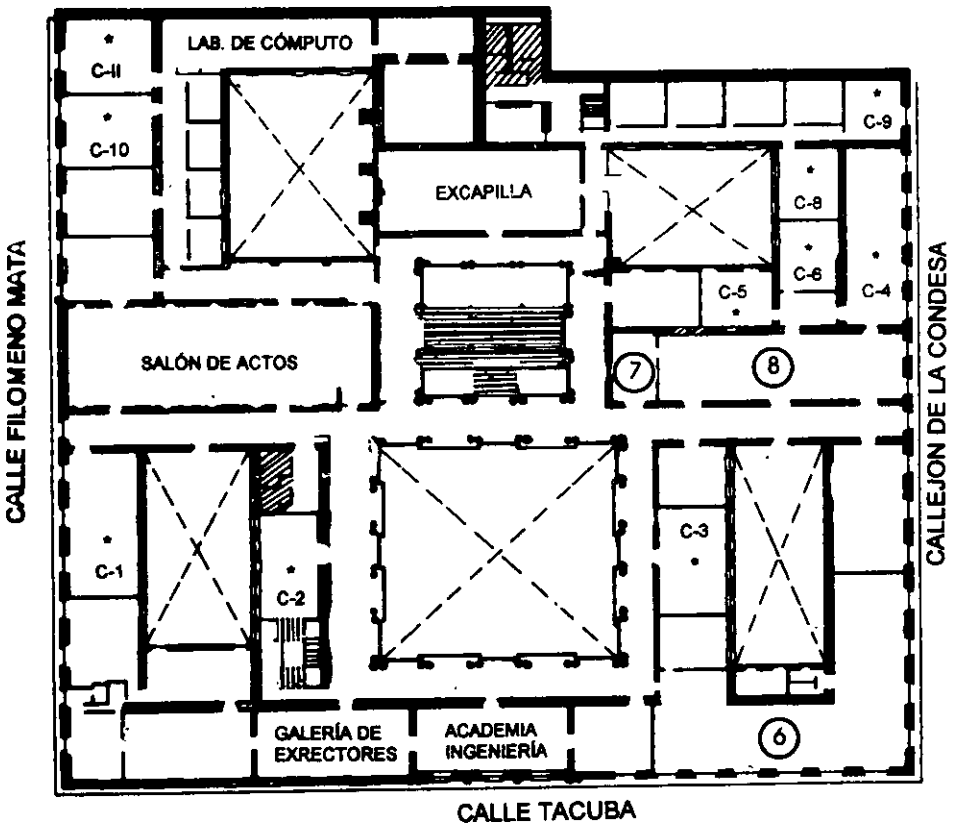


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERIA



Ier. PISO

GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
DEC

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

CURSOS ABIERTOS

CA153 DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS

Julio del 2003

Tema

TRANSFORMADORES

EXPOSITOR: Ing. Pablo Sandoval González
PALACIO DE MINERÍA
JULIO DEL 2003

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtemoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285
Teléfonos 5512-8955 5512-5121 5521-7335 5521-1987 Fax 5510-0573 5521-4021 AL 25

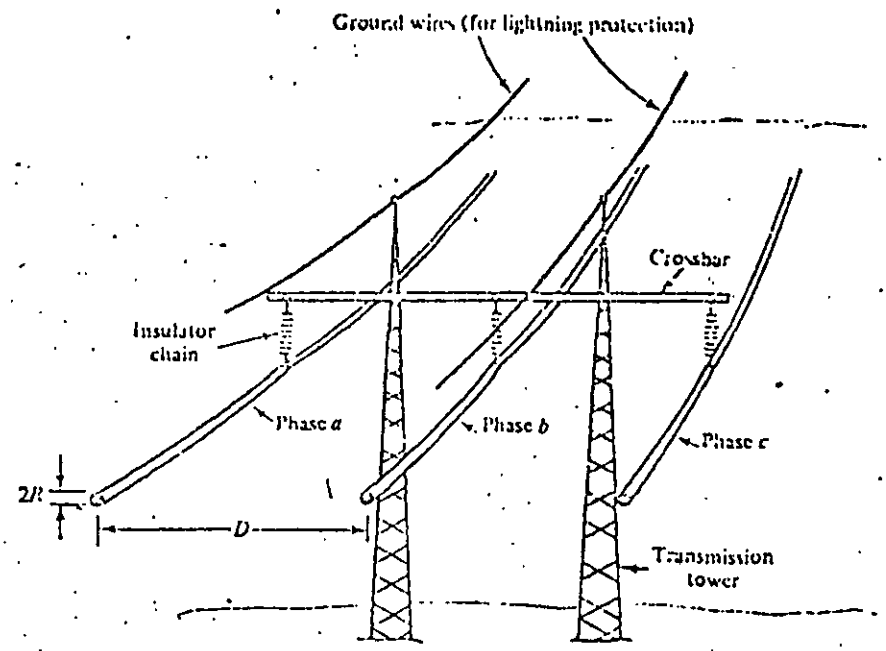


Figure 5.1

$$I = \frac{P}{V \cos\varphi} \quad \text{A/phase.}$$

$$P = \frac{1000}{3} = 333.3 \text{ MW/phase,}$$

$$V = \frac{20}{\sqrt{3}} = 11.55 \text{ kV/phase.}$$

$$I = \frac{333.3}{11.55} = 28.86 \text{ KA/phase.}$$

$$R = 1.75 \cdot 10^{-8} \frac{20 \cdot 10^{3}}{\pi 25^2 \cdot 10^{-6}} = 0.178\ \Omega\text{/phase.}$$

$$P_\Omega = R \cdot I^2 = 0.178 \cdot 28.86^2 = 148 \text{ MW/phase,}$$

$$\frac{148 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} = 7.4 \text{ kW/m conductor.}$$

$$\frac{148}{333.3} \cdot 100 = 44.4\%$$

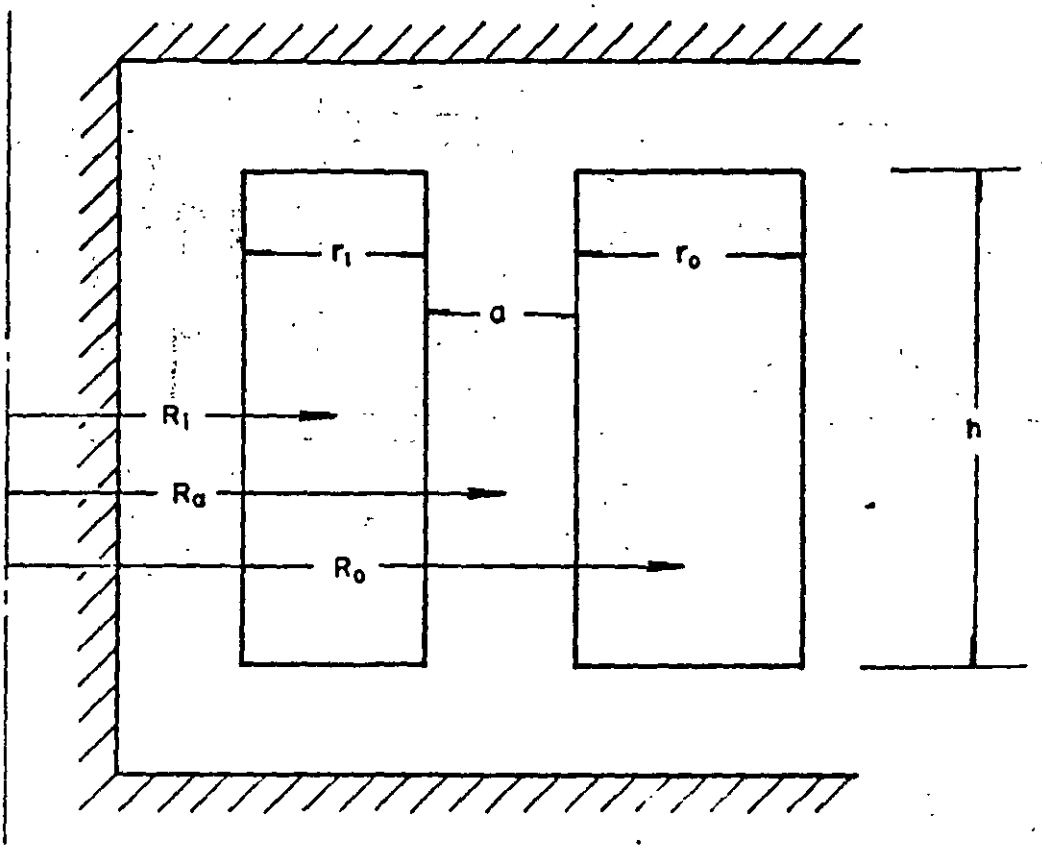
$$X = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(1/4 + \ln\left(\frac{\sqrt[3]{2D}}{R}\right)\right)\ \Omega\text{/m and phase.}$$

$$X = 377 \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \left(1/4 + \ln \frac{\sqrt[3]{2 \cdot 5}}{25 \cdot 10^{-3}}\right) 20 \cdot 10^3 =$$

$$8.72\ \Omega\text{/phase.}$$

$$X\ I = 8 \cdot 7 \cdot 28.86 = 251.7 \text{ kV/phase.}$$

REACTANCIA EN LOS TRANSFORMADORES



$$\%X = 0.126 \frac{f \cdot kVA/\text{pierna}}{e^2 \cdot h} \overbrace{\left[\frac{r_i R_i}{3} + a R_a + \frac{r_o R_o}{3} \right]}^{\text{AREA EFECTIVA DE FLUJO}}$$

e = Volts por vuelta $= \frac{E}{N}$

$\frac{E}{N} = K f \Phi = K f B A$

E = Voltaje del devanado

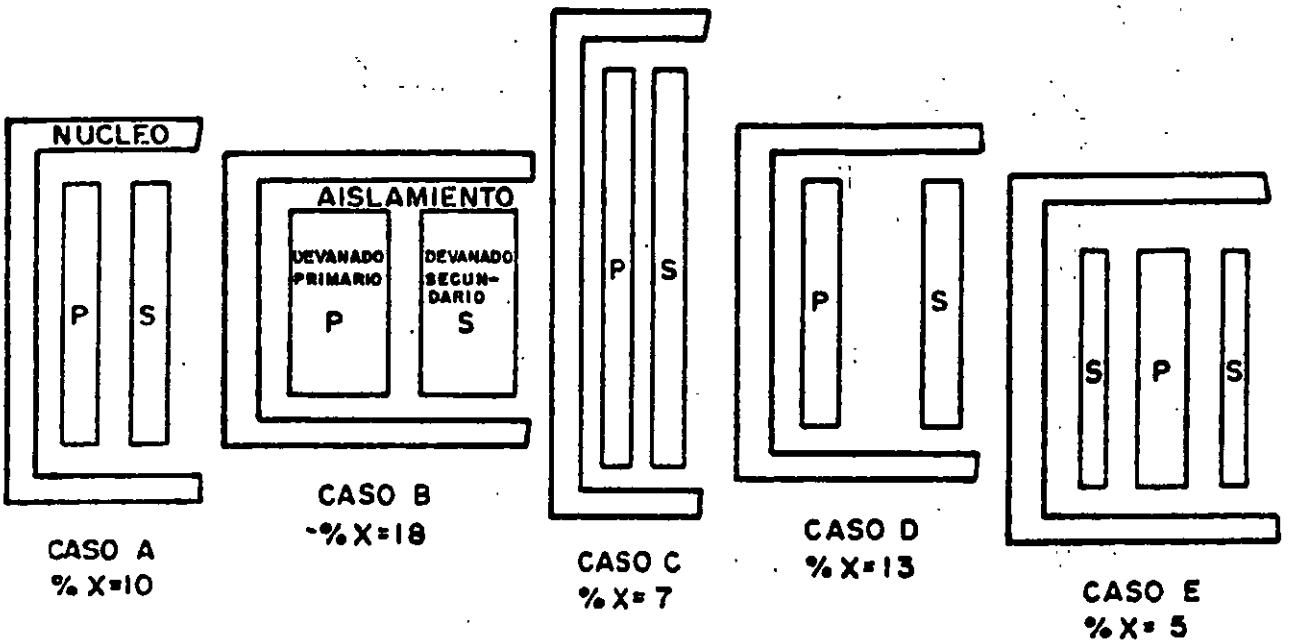
N = Número de vueltas

Φ = Flujo magnetizante total

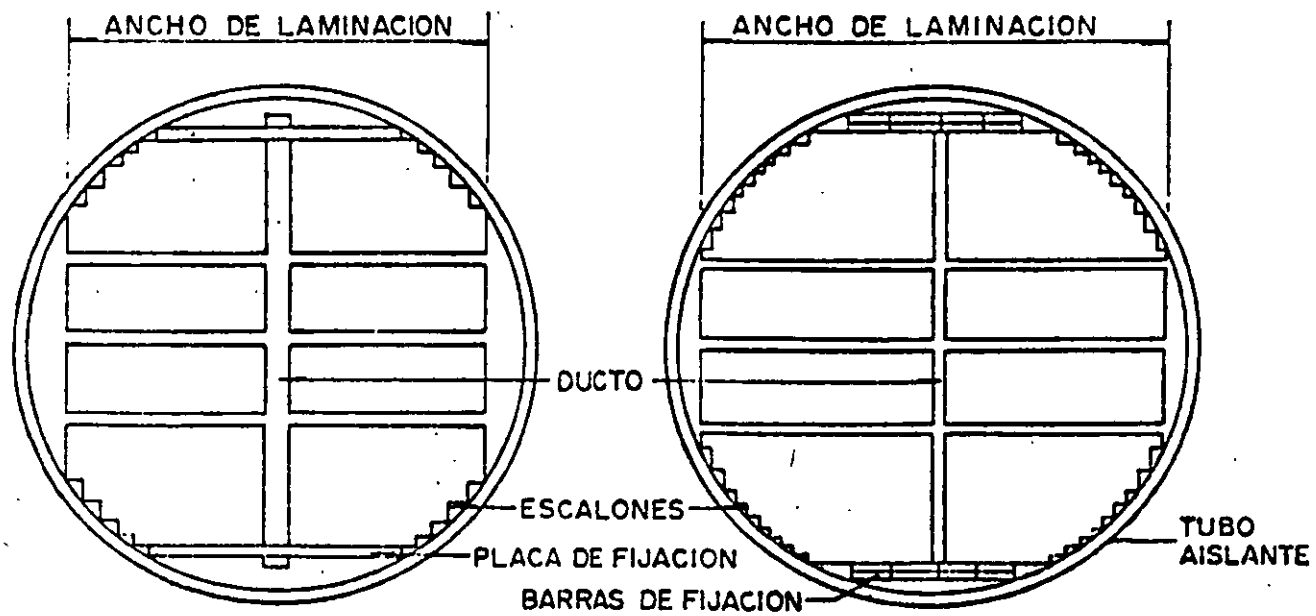
B = Densidad de flujo

A = Area del núcleo

GEOMETRIAS DE DEVANADOS



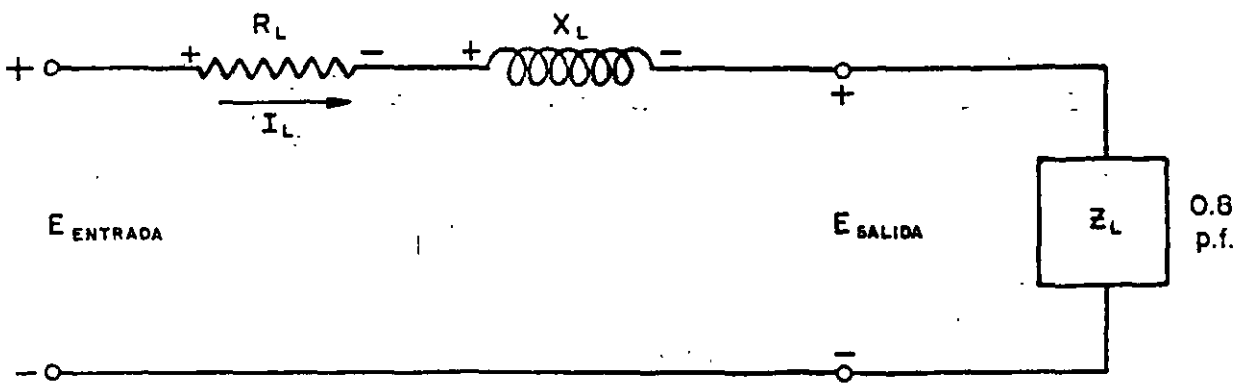
MEJORAS EN LA CONSTRUCCION DEL NUCLEO



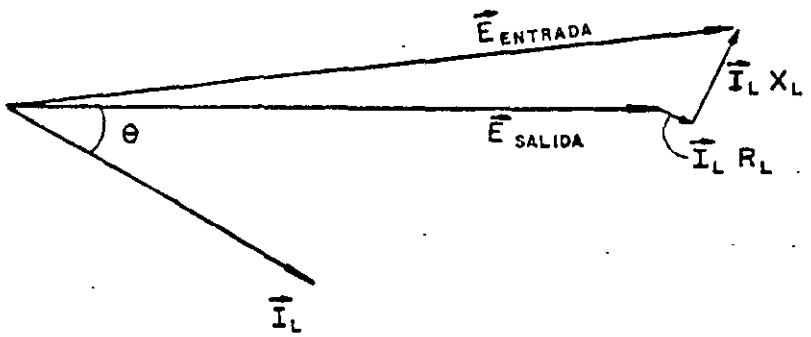
DISEÑO ANTIGUO

DISEÑO MODERNO

REGULACION



$$\vec{E}_{ENTRADA} = \vec{E}_{SALIDA} + \vec{I}_L R_L + \vec{I}_L X_L$$



$$\% \text{ REGULACION} = 100 \left[\frac{E_{ENTRADA} \quad E_{SALIDA}}{E_{SALIDA}} \right]$$

CALCULO APROXIMADO DE LA REGULACION

$$\% \text{ REG.} = 100 \left[p I_L R_L + q I_L X_L + \frac{(p I_L X_L - q I_L R_L)^2}{2} \right]$$

$p = \cos \theta$ = FACTOR DE POTENCIA .

$q = \operatorname{sen} \theta$

I_L = p.u. = CORRIENTE DE LA CARGA

X_L = p.u. = REACTANCIA

R_L = p.u. = RESISTENCIA SERIE

EJEMPLO : $p = 0.8$ $q = 0.6$

$I_L = 1.0$ $X_L = 0.10$ $R_L = 0.005$

$$\% \text{ REG.} = 100 \left[0.8 \times 0.005 + 0.6 \times 0.10 + \frac{(0.8 \times 0.10 - 0.6 \times 0.005)^2}{2} \right]$$

$$= 100 \left[0.004 + 0.06 + \frac{(0.08 - 0.003)^2}{2} \right]$$

$$= 100 \left[0.004 + 0.06 + 0.003 \right]$$

$$= 100 \left[0.067 \right] = 6.7 \%$$

A PLENA CARGA $E_{ENTRADA} = 1.067 \; E_{SALIDA}$

EFICIENCIA

$$EFIC. = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} = \frac{P_{SALIDA}}{P_{SALIDA} + P_{PERDIDAS}}$$

EJEMPLO: $P_{SALIDA} = 300$ MW

$R_M = 100{,}000\ \% = 1000$ pu

$R_L = 0.5\ \% = .005$ pu

$$\text{PERDIDAS EN VACIO} = \frac{E^2}{R_M} = \frac{1^2}{1000} = .001 \text{ pu}$$

(300 KW)

$$\text{PERDIDAS CON CARGA} = I_L^2\, R_L = 1^2 \times .005 = .005 \text{ pu}$$

(1500 KW)

$$EFIC. = \frac{P_{SALIDA}}{P_{SALIDA} + P_{PERDIDAS}} = \frac{1.0}{1.006} = .9940$$

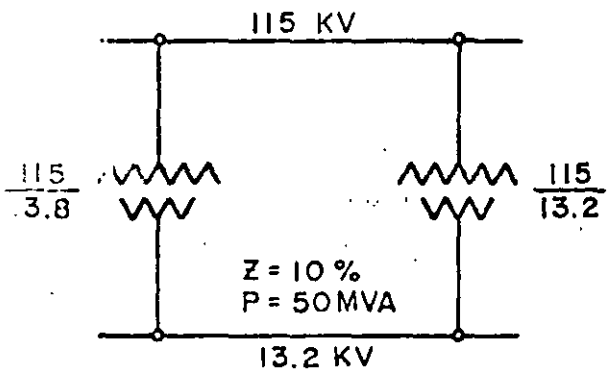
(99.40 %)

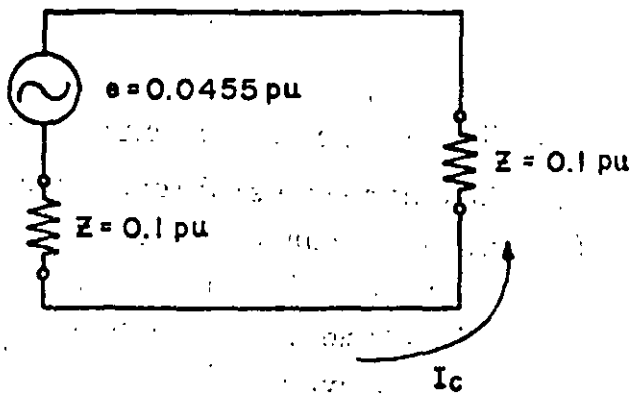
$$EFIC. = \frac{300{,}000 \text{ KW}}{301{,}800 \text{ KW}} = .9940$$

(99.40 %)

OPERACION DE TRANSFORMADORES EN PARALELO

CASO A: DIFERENTE RELACION



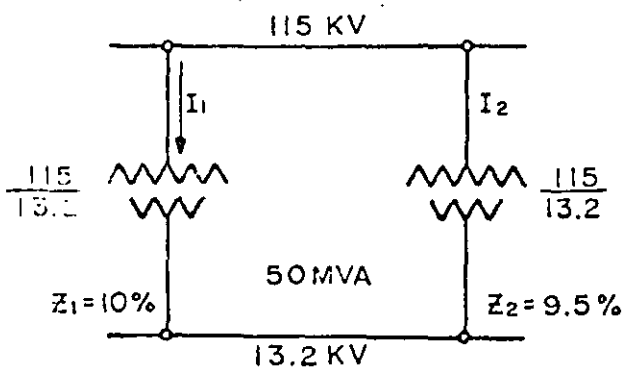


$$I_c = \frac{0.0455}{0.2} = 0.2275 \text{ pu}$$

$$= 22.75\%$$

(50 MVA Base)

CASO B: DIFERENTE IMPEDANCIA



$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2$$

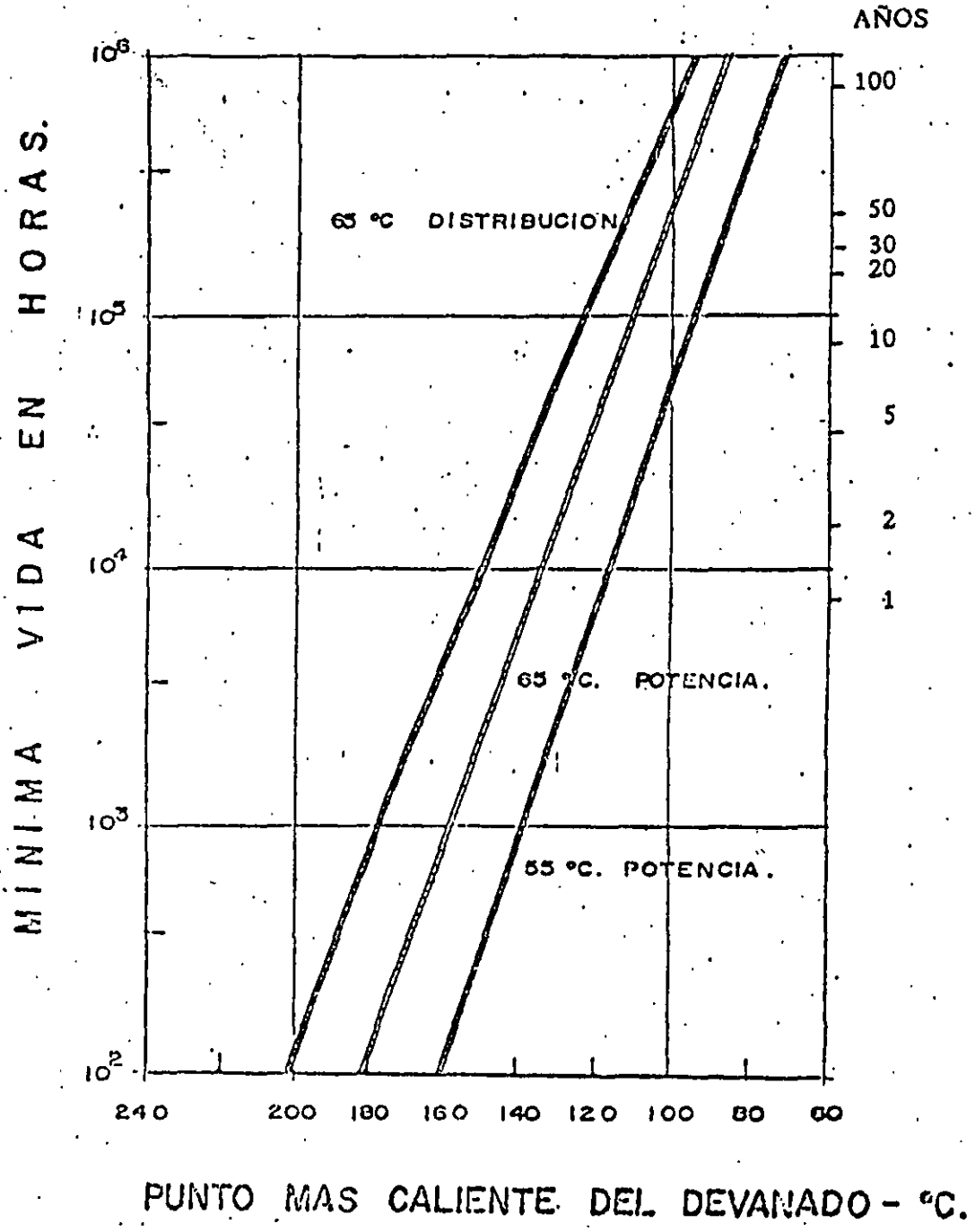
$$0.1\, I_1 = 0.095\, I_2$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{0.1}{0.095} = \underline{\underline{1.05}}$$

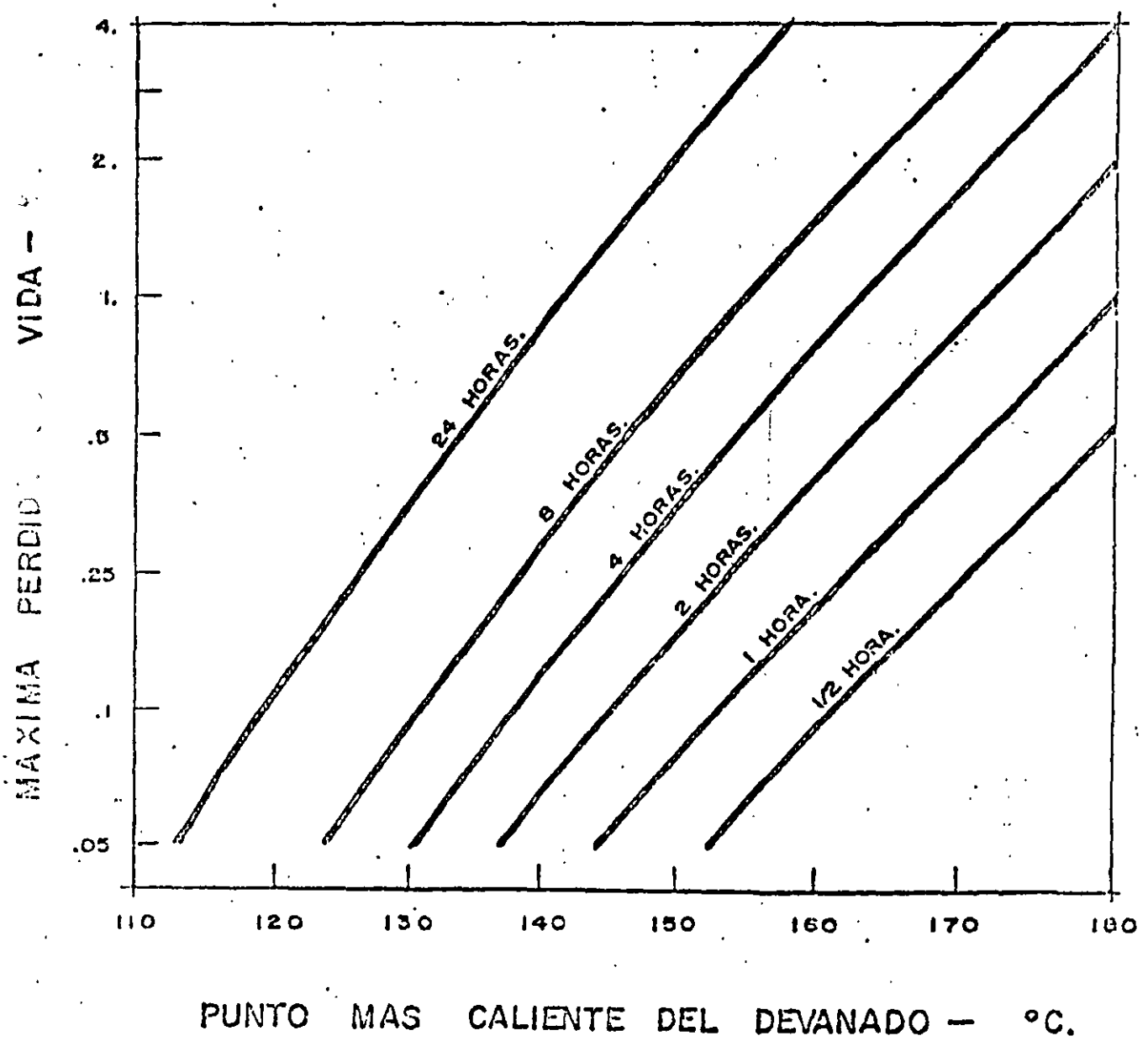
5% DE DESBALANCE EN LA CORRIENTE A CUALQUIER NIVEL DE CARGA.

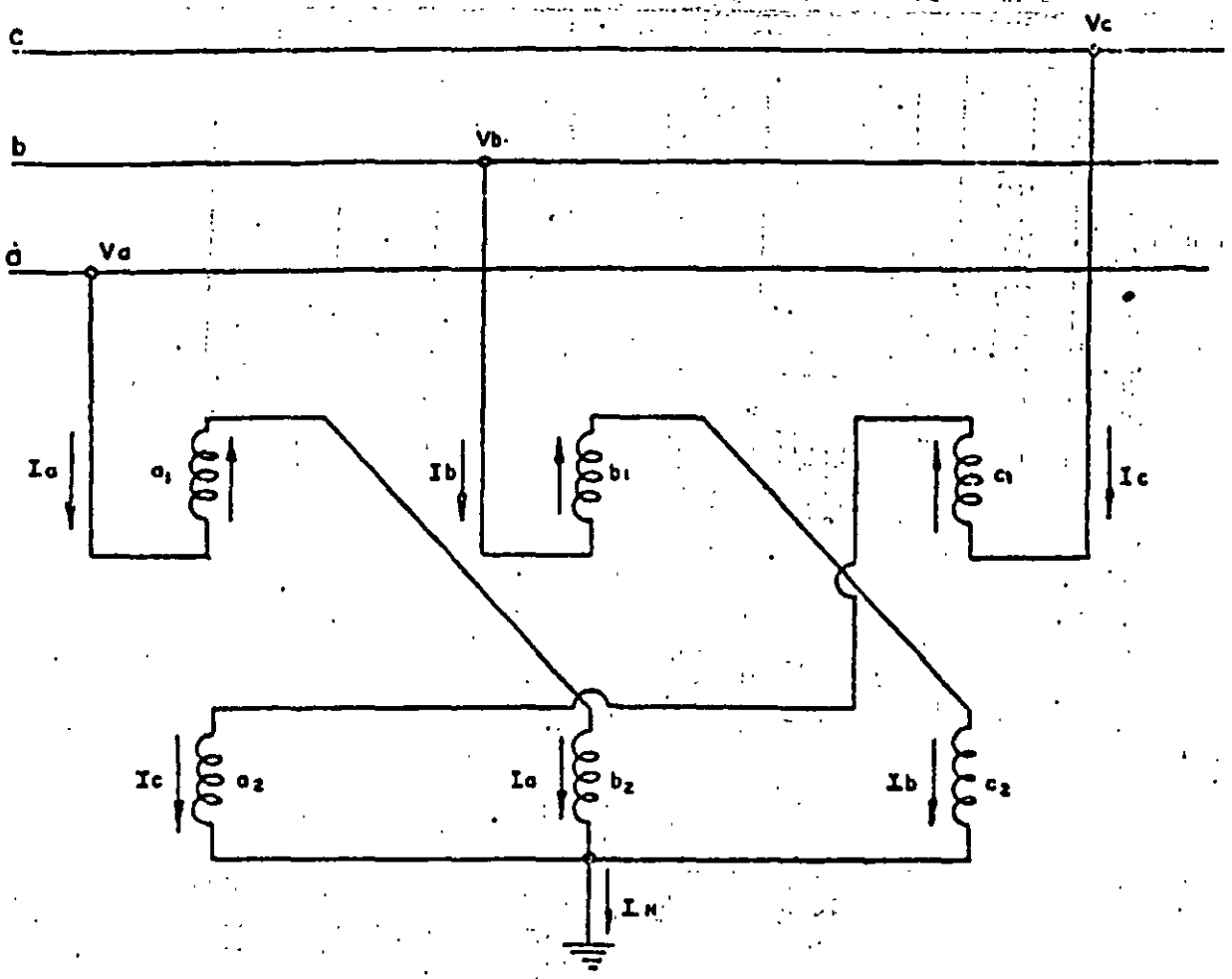
VIDA DEL AISLAMIENTO = VIDA DEL TRANSFORMADOR

VIDA ESPERADA.

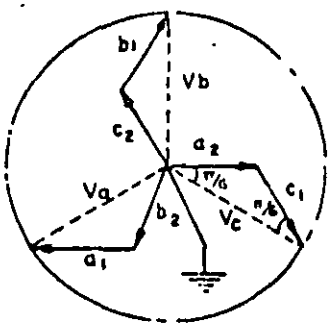


MAXIMA PERDIDA DE VIDA.
TRANSFORMADORES 65°C ELEVACION.





a).— DIAGRAMA DE CONEXIONES



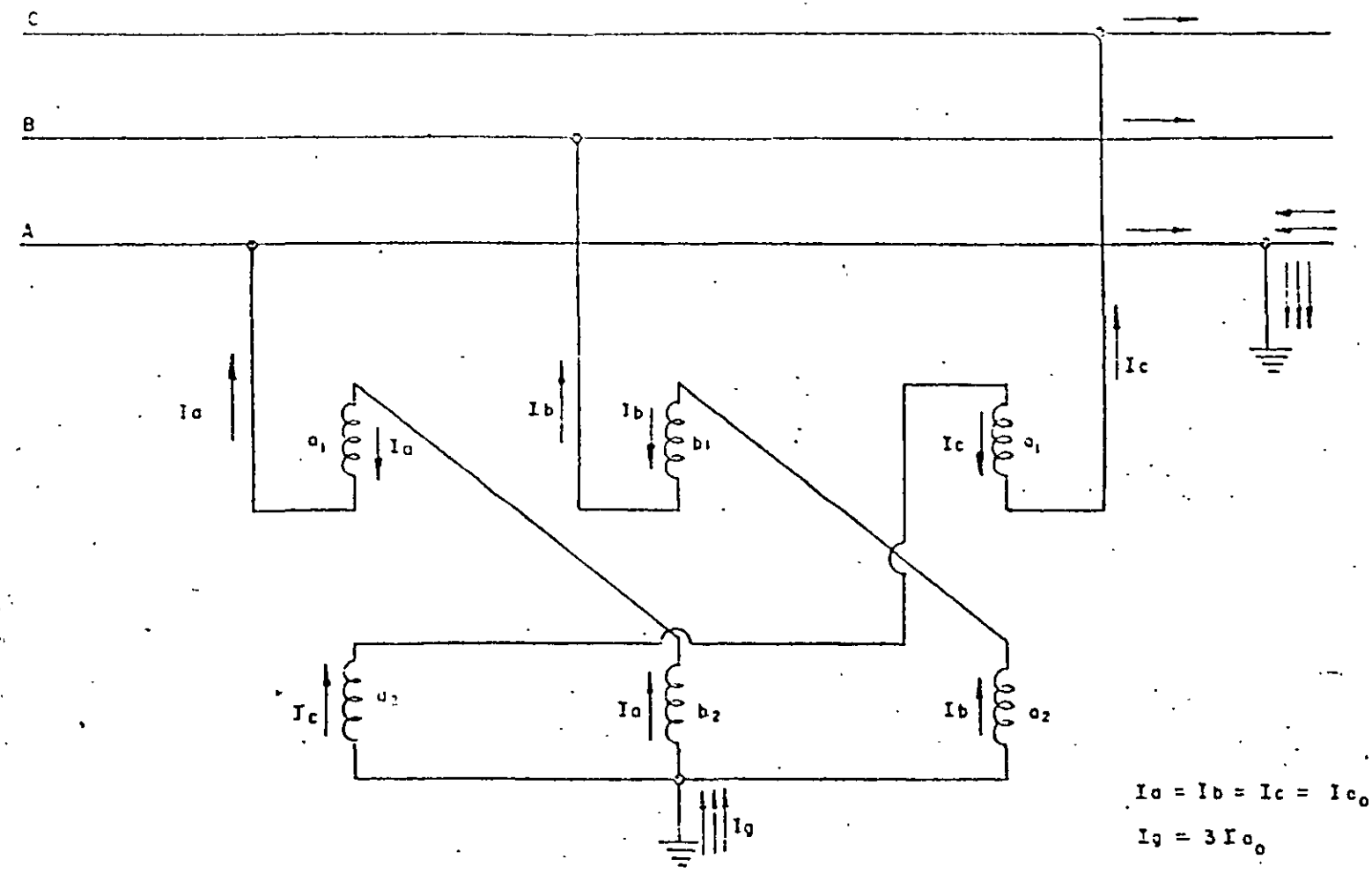
$$Vc = a_2 \cos \pi/6 + c_1 \cos \pi/6$$

$$= 2a_2 \cos \pi/6 = 2a_2 \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$= a_2\sqrt{3}$$

b).— DIAGRAMA VECTORIAL DE TENSIONES NORMALES

TRANSFORMADOR ZIG-ZAG PARA CONEXION A TIERRA.



DISTRIBUCION DE LAS CORRIENTES EN UN TRANSFORMADOR ZIG-ZAG PARA CONEXION A TIERRA EN EL CASO DE UNA FALLA ENTRE FASE Y TIERRA EN UN SISTEMA TRIFASICO.

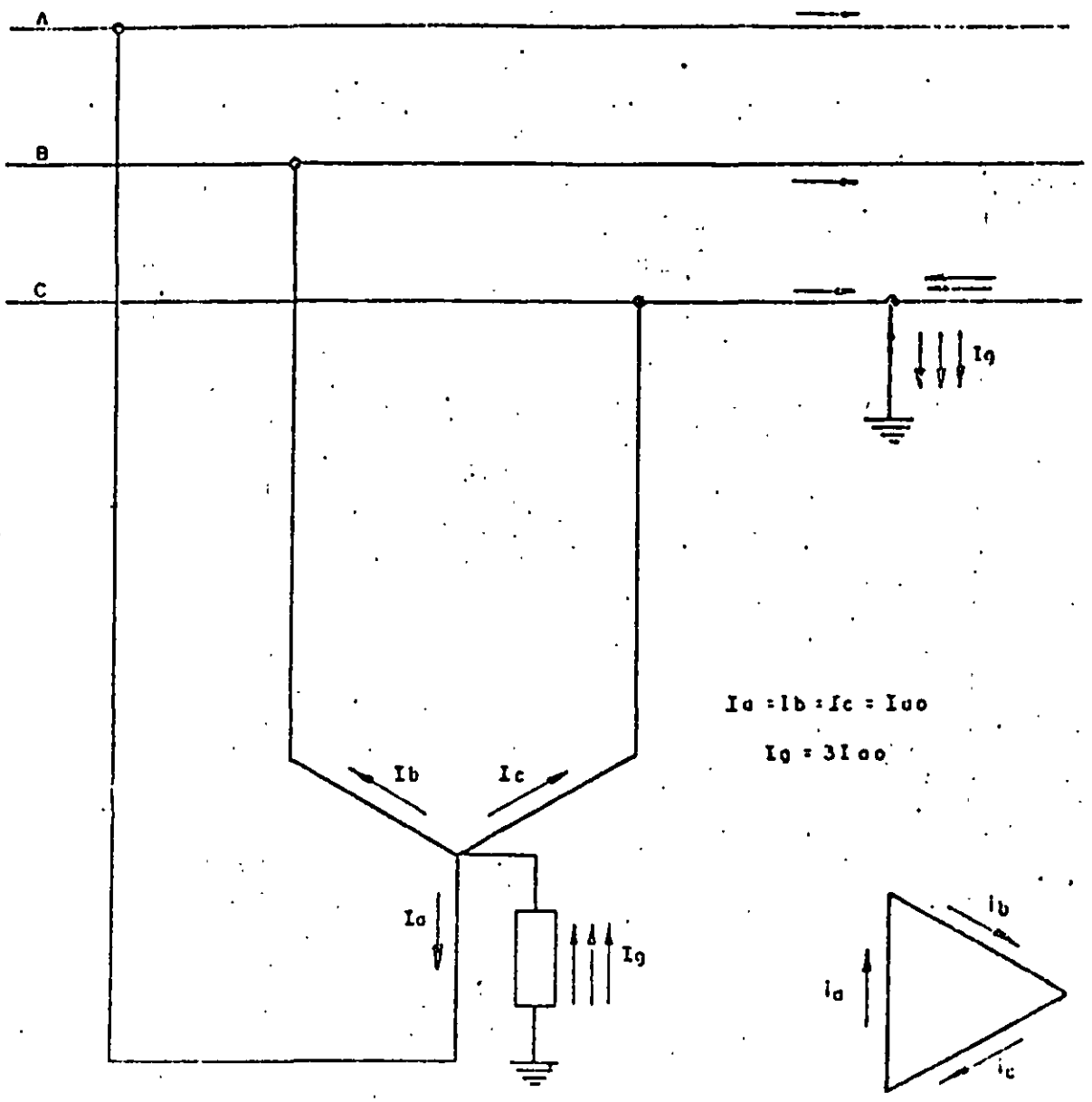
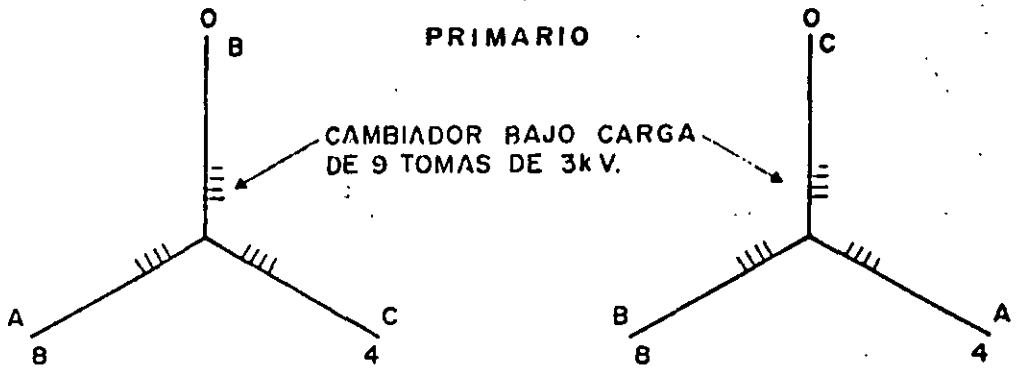
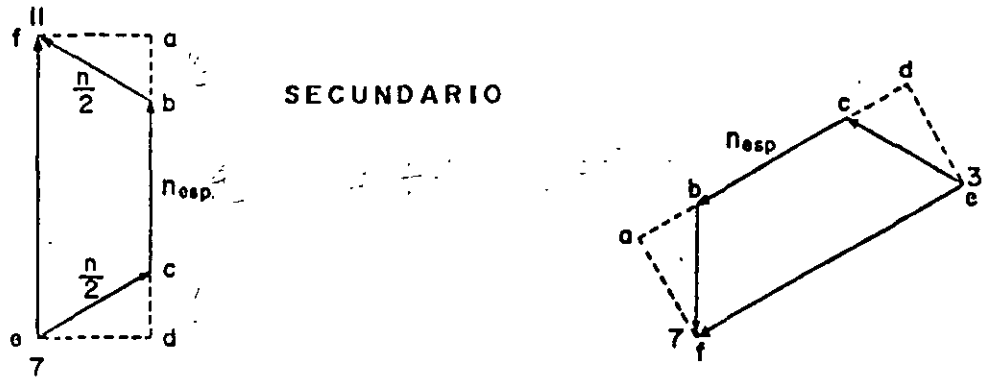


FIG. 3 –

DISTRIBUCION DE LAS CORRIENTES EN UN TRANSFORMADOR Y-DELTA PARA CONEXIÓN A TIERRA EN EL CASO DE UNA FALLA ENTRE FASE Y TIERRA EN UN SISTEMA TRIFASICO.

TRANSFORMADOR TRI-MONOFASICO

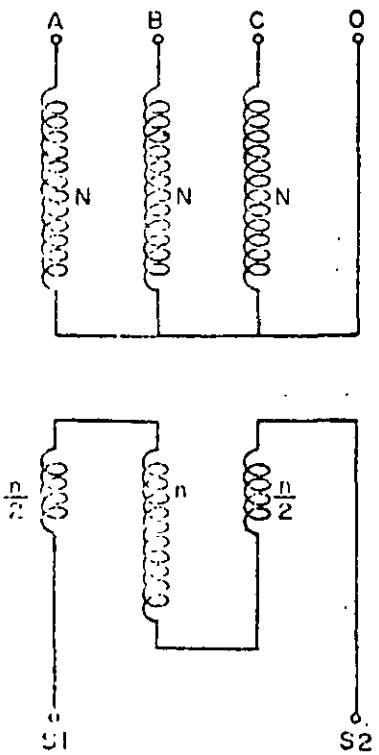




S. E. LA BRICHE

S. E. AVRON

235/27.5 k V. DE 40 MVA.



$ab = cd = \frac{bc}{4}$ $\qquad$ $da = 27500$ Volts.

$bc = \frac{27500}{3} \times 2 = 18320$ Volts.

$P_{bc} = \frac{40}{3} \times 2 = 22.66$ MVA. $\qquad$ $I = \frac{22.66}{18320} = 1453$ Amp.

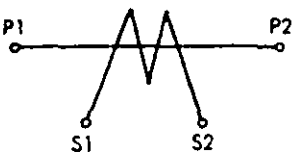
$P_{ce} = \frac{40-26.6}{2} = 6.66$ MVA. $\qquad$ $V = \frac{18320}{2} = 9160$ Volts.

$ab = cd = \frac{9160}{2} = 4580$ Volts.

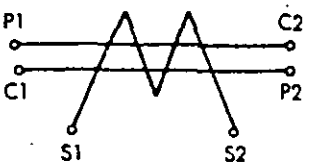
$P = 9160 \times 1453 = 13.33$ MVA.

$P_{transf.} = 26.66 + 2 \times 13.33 = 53.32$ MVA.

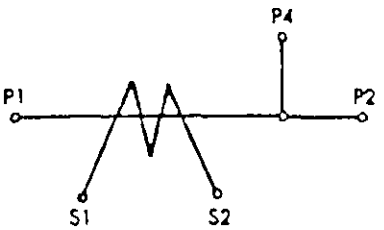
33 % SUPERIOR DE LA P_{efec}



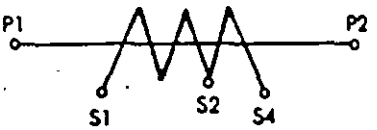
T C. NORMAL DE SIMPLE RELACION DE TRANSFORMACION UN SOLO CIRCUITO MAGNETICO Y UN BOBINADO SECUNDARIO



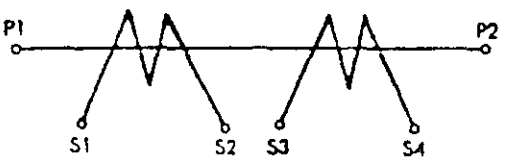
T.C. CON UN CIRCUITO MAGNETICO Y UNA DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION. POR MEDIO DE CONEXION SERIE O PARALELO SOBRE EL BOBINADO PRIMARIO.



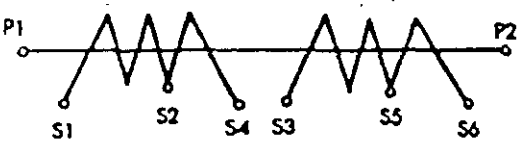
T.C. CON UN CIRCUITO MAGNETICO Y UNA DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION, POR MEDIO DE "TOMA" SOBRE BOBINADO PRIMARIO.



T.C. CON UN CIRCUITO MAGNETICO Y UNA DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION, POR MEDIO DE "TOMA" SOBRE EL BOBINADO SECUNDARIO.

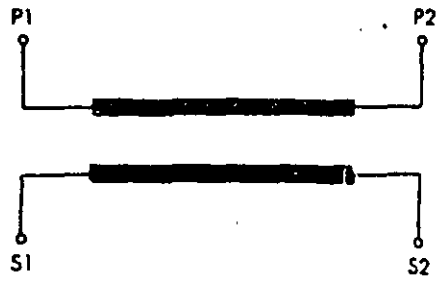


T.C. CON DOS CIRCUITOS MAGNETICOS Y UNA SOLA RELACION DE TRANSFORMACION Y DOS BOBINADOS SECUNDARIOS INDEPENDIENTES.

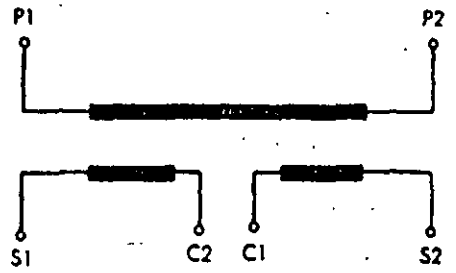


T.C. CON DOS CIRCUITOS MAGNETICOS, DOS BOBINADOS SECUNDARIOS INDEPENDIENTES Y DOS RELACIONES DE TRANSFORMACION POR MEDIO DE "TOMAS" SOBRE LOS BOBINADOS SECUNDARIOS.

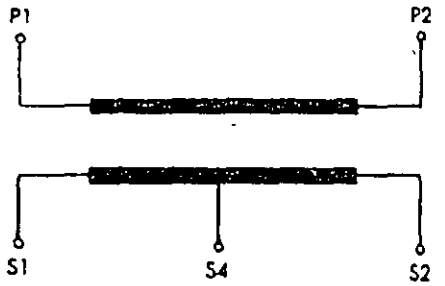
FIGURA 1
ESQUEMAS CLASICOS DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE



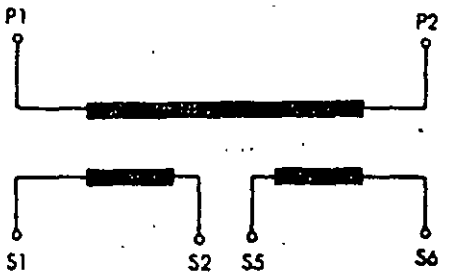
T.P. CON SIMPLE RELACION DE TRANSFORMACION.



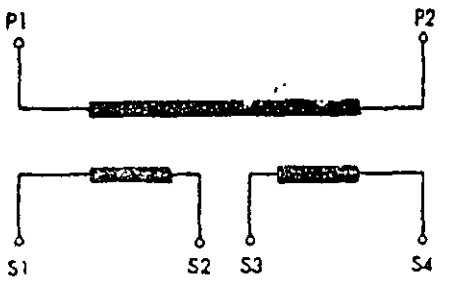
T.P. CON DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION SOBRE EL BOBINADO SECUNDARIO POR CONEXION SERIE PARALELO.



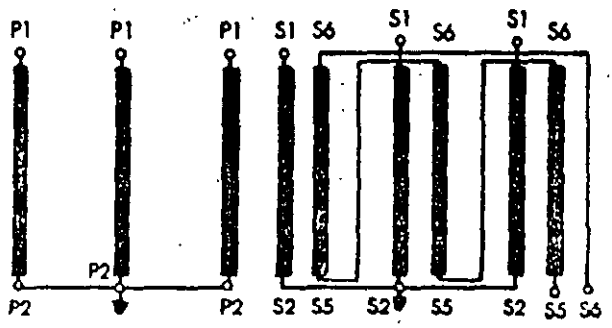
T.P. CON DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION POR MEDIO DE "TOMA" SOBRE EL BOBINADO SECUNDARIO



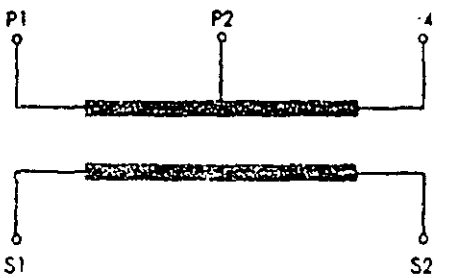
T.P. MONOFASICO PARA CONECTARSE ENTRE FASE Y TIERRA CON DOS BOBINADOS SECUNDARIOS UNO DE ELLOS PREVISTO PARA ALIMENTAR UNA SEÑAL DE TIERRA.



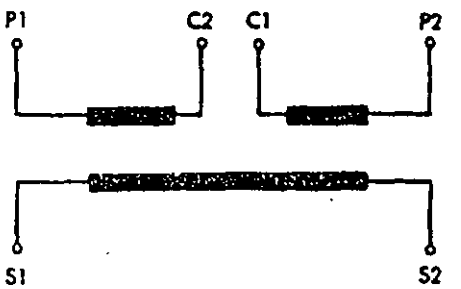
T.P. DE SIMPLE RELACION PREVISTO CON DOS BOBINADOS SECUNDARIOS INDEPENDIENTES.



ACOPLAMIENTO DE TRES TRANSFORMADORES DEL TIPO REPRESENTADO EN EL ESQUEMA SUPERIOR.



TRANSFORMADOR MONOFASICO DE DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION POR MEDIO DE "TOMA" SOBRE EL BOBINADO PRIMARIO (TRES BORNES PRIMARIOS).



TRANSFORMADOR MONOFASICO DE DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION SOBRE EL BOBINADO PRIMARIO POR CONEXION SERIE PARALELO (CUATRO BORNES PRIMARIOS).

FIGURA 2
ESQUEMAS CLASICOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

	Transformador de Potencial	Transformador de Corriente
Tensión	Constante	Variable
Corriente	Variable	Constante
La carga determina	La corriente	La tensión
Causa del error	Caída de tensión en serie	Corriente derivada en paralelo
Carga secundaria aumenta	Cuando Z_2 disminuye	Cuando Z_2 aumenta
Conexión del transformador a la línea	En paralelo	En serie
Conexión de los aparatos al secundario	En paralelo	En serie

■ SELECCION DE TRANSFORMADORES PARA MEDICION

Generalidades

Los factores que determinan la selección de estos aparatos son:

— el tipo de instalación.
— el tipo de aislamiento.
— la potencia y
— clase de precisión.

Instalación

Los aparatos pueden ser construidos para ser usados en instalaciones interiores o exteriores.

Generalmente, por razones de economía, las instalaciones de baja y media tensión, hasta 25 KV., son diseñadas para servicio interior. Las instalaciones de tipo exterior son de tensiones desde 34.5 a 400 KV, salvo en los casos donde, por condiciones particulares se hacen instalaciones interiores para tensiones hasta 230 KV.

Aislamiento

a) Material para baja tensión

Generalmente los aparatos son construidos con aislamiento en aire o aislamiento en resina sintética, suponiéndose que lo común son las instalaciones interiores.

b) Material de media tensión

Los transformadores para instalaciones interiores (tensión de 3 a 25 KV) son construidos ya sea con aislamiento de aceite con envolvente de porcelana (concepción antigua), ya sea con aislamiento en resina sintética (concepción moderna).

Hay que hacer notar que la mayoría de los diseños actuales emplean el material seco, los aparatos con aislamiento en aceite o masa aislante (compound) se utilizan muy poco y sólo para ampliaciones de instalaciones existentes.

Los aparatos para instalaciones exteriores son generalmente construidos con aislamiento porcelana-aceite, aunque la técnica más moderna está realizando ya aislamiento en seco para este tipo de transformadores.

c) Material de alta tensión

Los transformadores para alta tensión son aislados con papel dieléctrico, impregnados en aceite y colocados dentro de un envolvente de porcelana.

Potencia

La potencia nominal que se debe seleccionar para los transformadores de medición está en función de la utilización a que se destina un aparato.

Se examinarán posteriormente las potencias que se deben prever de una forma general, separadamente para los transformadores de corriente y los transformadores de potencial.

Clase de precisión

La selección de la clase de precisión depende igualmente de la utilización a que se destinen los transformadores. Independientemente a esto, los transformadores y los aparatos que van a ser conectados a ellos, deberán presentar una similitud de exactitud.

Para las mediciones industriales y puramente inductivas de vóltmetros y ampérmetros, las clases 1, 1.2, 3 y 5, son siempre suficientes.

En algunos casos, la clase 0.5 ó 0.6, es utilizada cuando se trata de instrumentos más precisos.

Para las mediciones de energía, las clases 0.2, 0.3, 0.5 y 0.6, son las más comúnmente utilizadas; se emplea la clase 0.2 y 0.3, en los casos de instalaciones de gran potencia, donde dicha clase se justifica.

Para transformadores de corriente empleados en la alimentación de sistemas de protección, las clases de precisión 5 y 10, son utilizadas con valores definidos de factores de sobrecarga.

a) Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente tienen por finalidad, llevar la intensidad de corriente que se desea medir a un valor cómodo para manipular y registrar. Conectados en serie con las líneas de alimentación, están sujetos a las mismas sobretensiones y sobreintensidades que ellas. Estas solicitudes, que son provocadas generalmente por un cortocircuito, no son solamente función de la potencia tomada por el circuito de alimentación, sino que dependen de la potencia del sistema y de la impedancia de los circuitos afectados. Hace falta, entonces, tener en cuenta la capacidad de cortocircuito del sistema y el lugar en donde se conectará el transformador de corriente.

Instalación

Suponiendo que se ha elegido el tipo de instalación (interior o exterior), conviene examinar todavía que tipo de transformador de corriente será posible utilizar en la misma. En efecto, la elección de un modelo puede estar influida por elementos particulares, como pueden ser: posición, altura, mantenimiento previsto, etc.

Tensión nominal de aislamiento

La tensión nominal de aislamiento de un transformador de corriente, debe ser cuando menos igual a la tensión más elevada del sistema en que se utilice.

La elección de la tensión nominal de aislamiento depende igualmente de las condiciones especiales de la instalación elegida. En climas salinosos, tropicales, con neblina o en instalaciones a altitudes superiores de 1,000 metros, se deberá prever un nivel de aislamiento superior.

Realización

Los transformadores de corriente pueden estar construidos con uno o varios circuitos magnéticos, según las necesidades particulares de su utilización.

Los transformadores son provistos con un solo circuito magnético, cuando alimentan un solo aparato, teniendo una función bien definida, por ejemplo: medición o protección, o cuando las exigencias de la explotación permitan conectar, sobre el mismo circuito magnético, aparatos teniendo funciones diferentes, pero donde las influencias mutuas de ellas no tengan consecuencias, por ejemplo: un ampérmetro indicador y un relevador de sobrecorriente.

Cuando son previstos con núcleos separados, cada circuito magnético alimenta los aparatos que tengan una función definida, por ejemplo: un transformador que tenga tres circuitos magnéticos separados, puede alimentar:

- el primero, la medición de precisión (facturación).
- el segundo, una protección diferencial, y
- el tercero, mediciones industriales y relevadores de sobrecorriente.

Un aparato construido con 2 ó 3 circuitos magnéticos separados, se comporta, teóricamente, como si se tratase de 2 ó 3 aparatos completamente diferentes, ya que sólo el bobinado primario es común, los circuitos magnéticos y los bobinados secundarios están completamente independientes y separados.

Los transformadores de corriente destinados a ser instalados en subestaciones de alta tensión (intemperie) y subestaciones interiores, con gran capacidad en el sistema de alimentación, son comúnmente construídos con varios núcleos separados.

Corrientes nominales normalizadas para Transformadores de Corriente

La corriente nominal de los bobinados primarios y secundarios de un transformador de corriente, son los valores para los cuales los bobinados están diseñados.

Las diferentes normas (ANSI, VDE, CEB, CEI, etc.), han normalizado los valores de las corrientes primarias y secundarias de los aparatos.

Corriente nominal primaria

Se seleccionará generalmente el valor normalizado superior a la corriente nominal de la instalación.

SIMPLE RELACION DE TRANSFORMACION	
5	150
10	200
15	300
20	400
25	600
30	800
40	1000
50	1200
75	1500
100	2000
	3000

DOBLE RELACION DE TRANSFORMACION	
5 × 10	100 × 200
10 × 20	150 × 300
15 × 30	200 × 400
25 × 50	300 × 600
50 × 100	400 × 800
75 × 150	500 × 1000
	600 × 1200

Valores normalizados

En ciertos tipos se realiza una doble o una triple relación primaria, ya sea por medio de conexiones serie paralelo del bobinado primario, o por medio de tomas en los bobinados secundarios.

Corriente nominal secundaria

El valor normalizado es generalmente de 5 amps.; en ciertos casos, cuando el alambrado del secundario puede representar una carga importante, se puede seleccionar el valor de 1 ampere.

Carga secundaria

La carga secundaria para un transformador de corriente, es el valor en ohms de la impedancia constituida por los instrumentos del secundario, comprendiendo sus conexiones.

La carga secundaria nominal es la impedancia del circuito secundario, correspondiente a la potencia de precisión, bajo la corriente nominal, por ejemplo: potencia de precisión 50VA para $I_2 = 5A$.

$$Z_2 = \frac{50}{5^2} = 2 \text{ ohms}$$

Damos, a continuación, una gráfica del consumo en VA de los alambres utilizados generalmente para conexiones, figura 11.

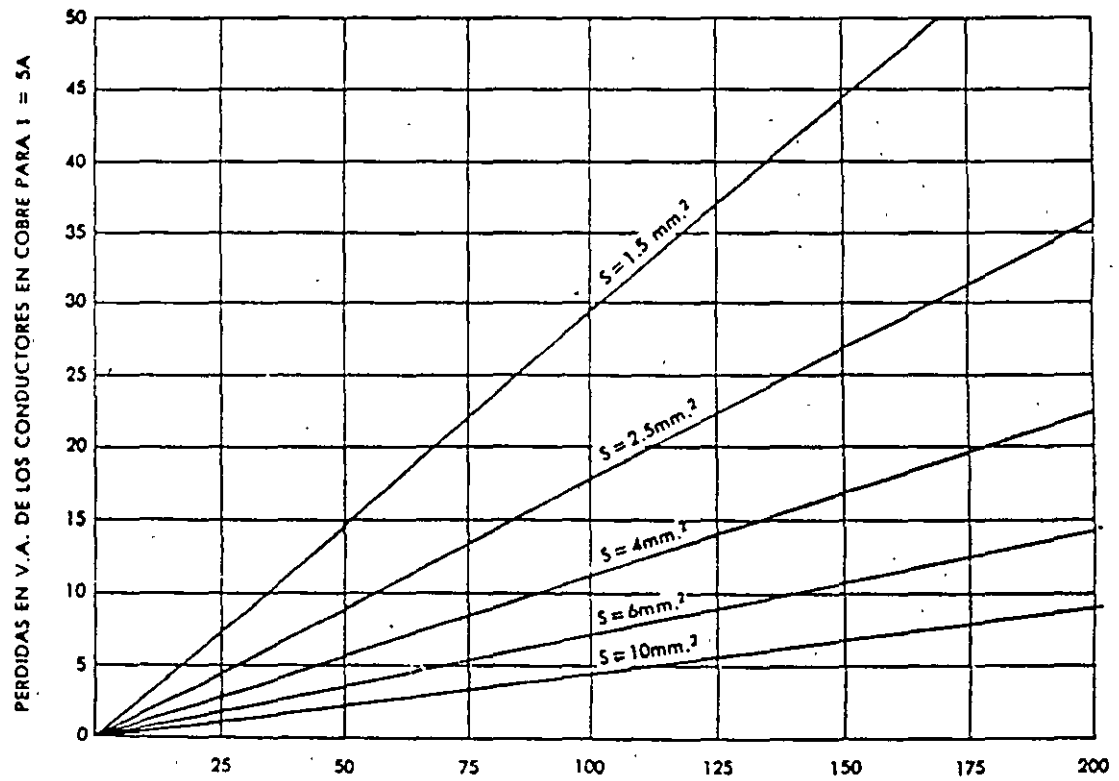


FIGURA 11

Designación de la carga	CARACTERISTICAS Resistencia ohms	Inductancia (m H)	Impedancia ohms	Volt. Amperes a 5 AMPS	Factor de Potencia
		CARGAS DE MEDICION			
B-0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
B-0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
B-0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
B-0.9	0.81	1.04	0.9	22.5	0.9
B-1.8	1.62	2.08	1.8	45.0	0.9
		CARGAS DE PROTECCION			
B-1	0.5	2.3	1.0	25	0.5
B-2	1.0	4.6	2.0	50	0.5
B-4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
B-8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Potencia nominal

La potencia nominal de los transformadores de corriente, es la potencia aparente secundaria bajo corriente nominal determinada, considerando las prescripciones relativas a los limites de errores. Está indicada, generalmente, en la placa de caracteristicas y se expresa en voltamperes, aunque también puede expresarse en ohms.

Para escoger la potencia nominal de un transformador de corriente, hay necesidad de hacer la suma de las potencias de todos los aparatos que serán conectados en serie con su devanado secundario y tener en cuenta la pérdida por efecto de joule de los cables de alimentación. Será necesario entonces, tomar el valor nominal inmediato superior a la cifra obtenida Tabla 1 (para normas ANSI, para otras normas, ver el artículo de pruebas a transformadores de medición.)

Alimentación de aparatos

Según las condiciones particulares de cada instalación, diferentes aparatos deberán estar alimentados por los transformadores de corriente.

Como se ha expresado anteriormente, los transformadores de corriente pueden ser

Aparatos	Modelo	Consumo en VA para la intensidad nominal
		Frecuencia 60 cps
Horimetros		0.5 a 1.5
Metros de tablero	A inducción	1.5 a 3
	Electrodinámico	4 a 5
Metros registradores	A inducción	1.5 a 2
	Electrodinámico	6 a 8
Metros portatiles	Electrodinámico	1 a 4
Metros de laboratorio		1.5 a 3
Medidores de defasaje		6 a 16
Fasómetros		10 a 18
Relevadores	De corriente máxima con atraso independiente	3 a 10
	Relevadores especiales de corriente máxima, con atraso independiente	15 a 25
	De máxima instantánea	1 a 10
	Direccional	1.5 a 10
Relevadores	Diferencial compensado	1.6 a 10
	Diferencial	3 a 12
	A mínima de impedancia	0.5 a 2
	De distancia	6 a 20
Reguladores	Según modelo	10 a 150

construidos con uno, dos o tres circuitos magnéticos separados, adaptados a las diferentes exigencias de los aparatos que se alimentarán.

Hay necesidad de definir, en el momento de seleccionar un transformador de corriente, los elementos que tendrán como función la medición y aquellos que tendrán como función la protección en el conjunto que se estudia. Se dan en la Tabla II los consumos en voltamperes de los principales aparatos conectados a transformadores de corriente.

Clases de precisión

Las clases de precisión normales son: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 1.2, 3 y 5, dependiendo de las normas usadas.

La clase de precisión se designa por el error máximo admisible, en porciento, que el transformador pueda introducir en la medición, operando con su corriente nominal primaria y a frecuencia nominal. (Normas CEI, VDE, BSS, etc.)

Las normas ANSI define la clase de precisión como el error máximo admisible, en % que el transformador puede introducir en la medición de potencia.

Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con una o varias cargas nominales de precisión, por ejemplo: 0.5 - 50 VA.

Se dan a continuación, las clases de precisión recomendadas, según el uso a que se destina el transformador de corriente.

Clase	Utilización
0.1	Calibración y medidas de laboratorio.
0.2-0.3	Medidas de laboratorio. Alimentación de watthorímetros para alimentadores de gran potencia.
0.5-0.6	Alimentación de watthorímetros para facturación, en circuitos de distribución. Watthorímetros industriales.
1.2	Ampérmetros indicadores. Ampérmetros registradores. Fasómetros indicadores. Fasómetros registradores. Watthorímetros indicadores. Watthorímetros industriales. Watthorímetros registradores. Protecciones diferenciales, relevadores de impedancia y de distancia.
3-5	Protecciones en general, (relevadores de sobrecorriente).

NOTA:
Se aconseja alimentar las protecciones diferenciales con transformadores de corriente separados, ya que las mismas imponen las condiciones más severas. El mismo principio se puede aplicar a protecciones a distancia.

Precisión para protección

La revisión de 1968 de las normas americanas ANSI (anteriormente ASA) hacen la siguiente clasificación de la precisión para protección.

1. Clase C.
2. Clase T.

La primera, cubre a todos los transformadores que tienen los devanados uniformemente distribuidos, y por lo tanto, el flujo de dispersión en el núcleo no tiene ningún efecto apreciable en el error de relación. La relación de transformación en ellos, puede ser calculada por métodos analíticos.

La segunda, cubre a todos los transformadores que tienen los devanados no distribuidos de manera uniforme, y por lo tanto, el flujo de dispersión en el núcleo, tiene un efecto apreciable en el error de relación. La relación de transformación en los mismos, debe ser determinada por prueba.

Ambas clasificaciones deben ser complementadas por la tensión nominal secundaria que el transformador puede suministrar a una carga normal (B0.1 a B8.0) a 20 veces la corriente nominal secundaria, sin exceder en 10% el error de relación. Este error, además deberá estar limitado a 10 % a cualquier corriente entre 1 y 20 veces la corriente nominal, y a cualquier carga inferior a la nominal.

Así, por ejemplo, un transformador clase C 100, deberá tener un error de relación menor a 10% a cualquier corriente entre 1 y 20 veces la corriente nominal secundaria, si su carga no es mayor a (1.0 ohm × 20 veces × 5 amperes =) 100 volts.

De lo anterior, se deduce que la nueva clasificación para protección (C ó T), es equivalente a la antigua clasificación L.

La precisión para protección definida en otras normas, se da en el folleto sobre pruebas a transformadores de medición.

Capacidad de resistencia de los transformadores de corriente a los cortocircuitos

Por el hecho que ellos van conectados en serie con las líneas de alimentación, los transformadores de corriente están sujetos a las mismas sobretensiones y sobrecorrientes que las líneas.

Estas sobrecorrientes, provocadas generalmente por cortocircuitos, no son solamente función de la potencia tomada por un alimentador, sino que dependen de la potencia de la central o del sistema y de la impedancia de los circuitos que se encuentran entre las fuentes de energía y el lugar de la falla.

El incremento considerable de las potencias de las centrales eléctricas, ha dado como resultado efectos de cortocircuito de una importancia capital, que es absolutamente indispensable tenerla en cuenta para la selección de los aparatos, con objeto de evitar graves interrupciones y accidentes en caso de falla.

La resistencia de los transformadores de corriente a los cortocircuitos, está determinada por las corrientes límites térmica y dinámica, definidas por ANSI, como:

a) La corriente límite térmica es el valor eficaz de la corriente primaria más grande que el transformador de corriente pueda soportar por efecto joule, durante 1 segundo, sin sufrir deterioros y teniéndose el circuito secundario en cortocircuito. Esta corriente límite térmica se expresa en kiloamperes eficaces, o en n veces la corriente nominal primaria.

La elevación de temperatura admisible en el transformador es de 150°C, para la clase A de aislamiento y dicha elevación se obtiene en un segundo, con una densidad de corriente de 143 amp/mm².

b) La corriente límite dinámica es el valor de cresta de la primera amplitud de corriente que un transformador puede soportar por efectos mecánicos, sin sufrir deterioros, teniendo su circuito secundario en cortocircuito.

Su amplitud se expresa en kiloamperes (cresta).

Como se recordará, los bobinados primarios y secundarios de los transformadores de corriente, están sujetos a las leyes de Ampere:

1a. Dos corrientes paralelas y de la misma dirección se atraen.
2a. Dos corrientes paralelas y de dirección contraria se repelen.
3a. Dos corrientes angulares tienden a colocarse paralelamente y en la misma dirección.

En la práctica, el cálculo se efectúa siguiendo las dos fórmulas:

$$I_{term.\ ef.}\ (KA) = \frac{\text{Potencia de cortocircuito (MVA)}}{\text{Tensión (KV)}\ \sqrt{3}}$$

$$I_{din.\ cresta} = 1.8\sqrt{2}\ I_{term.} = 2.54\ I_{term.}$$

Por otro lado, hace falta tener en cuenta que no es siempre posible fabricar transformadores de corriente con características de cortocircuito muy elevadas, debido a limitaciones de espacio en las subestaciones, sobre todo, cuando las potencias y clases de precisión son importantes.

En efecto, para construir estos transformadores, es necesario tener grandes secciones de cobre en los bobinados, con lo que se reduce el número de espiras primarias admisibles.

Como la potencia de precisión varía sensiblemente con el cuadrado de un número de ampere-vueltas primarios, para un circuito magnético dado, la precisión de los transformadores hechos para resistir grandes valores de corrientes de cortocircuito, disminuye considerablemente.

Por lo anterior, se ve que es necesario limitar la potencia de precisión al mínimo para los transformadores con características de cortocircuito muy elevadas.

b) Transformadores de potencial

Conexión

Los transformadores de potencial van conectados ya sea entre fases, o bien, entre fase y tierra.

La conexión entre fase y tierra se emplea normalmente con grupos de 3 transformadores monofásicos conectados en estrella:

1o. Cuando se trata de subestaciones con tensión de 45 KV o superior.
2o. Cuando se desea medir la tensión y la potencia de cada una de las fases por separado.
3o. Para alimentar algún indicador de tierra.
4o. Cuando el número de VA, suministrado por 2 transformadores de potencial es insuficiente.

Tensión nominal de servicio

Se escoge generalmente la tensión nominal de aislamiento en KV superior, y más próxima a la tensión de servicio.

Tensión nominal secundaria

La tensión nominal secundaria, según ANSI, es de 120 volts para los transformadores de tensión nominal de servicio hasta 25 KV, y de 115 volts con aquéllos de 34.5 KV o más.

En transformadores conectados entre fase y tierra, es normal también una tensión secundaria de aprox. 115/1.73 volts.

Los transformadores de potencial son construidos en la generalidad de los casos, con un solo bobinado secundario, que alimenta los aparatos de medición y de protección.

Se preven normalmente dos bobinados secundarios en el caso de que se desee alimentar relevadores de tierra.

tencia nominal

Para escoger la potencia nominal de un transformador de tensión, se hace generalmente la suma de las potencias nominales de todos los aparatos conectados al secundario. Se tienen en cuenta, por otro lado, las caídas de tensión en las líneas si las distancias entre los transformadores y los instrumentos de medición, son importantes.

Se escoge la potencia normal inmediata superior a la suma de las potencias. Los valores normales de las potencias de precisión y de sus factores de potencia, según ANSI, están dados en la Tabla III (para otras normas, las potencias están dadas en el artículo sobre pruebas a transformadores de medición).

Clases de precisión

Las clases de precisión normales para los transformadores de potencial son: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 1.2, 3 y 5, dependiendo de las normas usadas.

Las siguientes tablas, presentan las diferentes clases de precisión de los instrumentos normalmente conectados y las potencias comunes de sus bobinados.

Clase	Utilización
0.1	Calibración.
0.2-0.3	Mediciones en laboratorios, alimentación de integradores (watthorímetros) para sistemas de gran potencia.
0.5-0.6	Instrumentos de medición e integradores. (watthorímetros).
1.2-3-5	Vóltmetro de tableros. Vóltmetros registradores. Wattmetros de tableros. Watthorímetros. Frecuenciómetros de tablero. Sincronoscopios. Reguladores de tensión. Relevadores de protección, etc.

Aparatos	Consumo aproximado en VA
Vóltmetros	
Indicadores	3.5— 15
Registradores	15— 25
Wattmetros	
Indicadores	6— 10
Registradores	5— 12
Medidores de fase	
Indicadores	7— 20
Registradores	15— 20
Watthorímetros	3— 15
Frecuenciómetros	
Indicadores	1— 15
Registradores	7— 15
Relevadores de tensión	10— 15
Relevadores selectivos	2— 10
Relevadores direccionales	25— 40
Sincronoscopios	6— 25
Reguladores de tensión	30—250

CARGAS NORMALES			CARACTERISTICAS EN BASE A 120 VOLTS Y 60 HZ			CARACTERISTICAS EN BASE A 69.3 VOLTS Y 60 HZ		
Designación	V.A.	f.p.	Resistencia ohms	Inductancia henrys	Impedancia ohms	Resistencia ohms	Inductancia henrys	Impedancia ohms
V	12.5	0.10	115.2	3.042	1152	38.4	1.014	384
X	25	0.70	403.2	1.092	576	134.4	0.364	192
Y	75	0.85	163.2	0.268	192	54.4	0.0894	64
Z	200	0.85	61.2	0.101	72	20.4	0.0336	24
ZZ	400	0.85	30.6	0.0554	36	10.2	0.0168	12
M	35	0.2	82.3	1.07	411	27.4	0.356	137

FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

CA153 DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

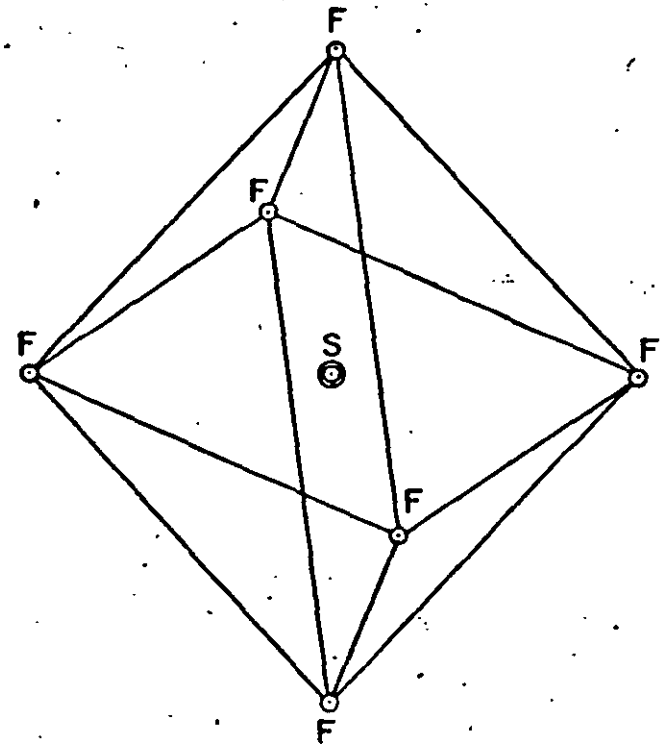
Julio del 2003

Tema

SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

EXPOSITOR: Ing. JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ MÉNDEZ
PALACIO DE MINERÍA
JULIO DEL 2003

Palacio de Minería, Calle de Tacuba No. 5, Primer piso, Delegación Cuauhtémoc, CP 06000, Col. Centro, México D.F.,
APDO Postal M-2285 • Tels: 5521.4021 al 24, 5623.2910 y 5623.2971 • Fax: 5510.0573



REPRESENTACION ESPACIAL DE LA MOLECULA DEL GAS SF_6

SU ECUACION EXOTERMICA ES:

$$S + 3F_2 \longrightarrow SF_6 + \text{CALOR (262 Kcal)}$$

EL SF_6 EN SU ESTADO PURO ES:

- SIN COLOR
- SIN OLOR
- SIN SABOR
- NO TOXICO

- INERTE QUIMICAMENTE
- NO INFLAMABLE.
- NO CORROSIVO
- NO CONDENSABLE A BAJAS TEMPERATURAS.
- A PRESION ATMOSFERICA Y TEMP. AMBIENTE ES UN GAS.

ANTECEDENTES HISTORICOS

- SE FABRICO POR PRIMERA VEZ EN PARIS FRANCIA EN 1900 POR LOS Srs. MOISSAN Y LEBEAN
- SU APLICACION EN EQUIPOS ELECTRICOS COMENZARON EN 1950 POR WESTINGHOUSE (E.E.U.U.)
- EN 1953 APARECIO EN EL MERCADO
- EL PRIMER INTERRUPTOR DE POTENCIA

ESPECIFICACIONES DEL SF_6.

- PUNTO DE ROCIO MAXIMO °C -45
- CONTENIDO DE AGUA POR PESO 9 PPM
- PESO MOLECULAR 146±2%
- ACIDAD HF, MAX. PPM POR PESO 0.3
- CONTENIDO DE AIRE Y N_2 MAX. POR PESO EN % 0.05

TABLA DE PROPIEDADES FISICAS

- FORMULA SF_6
- PESO MOLECULAR 146.05
- DENSIDAD DEL GAS

  CON RESPECTO AL AIRE -------5.0
- TENSION SUPERFICIAL A

  - 20° C DINAS / C U ----------8.02
- TEMPERATURA CRITICA ° K-----318.80
- PRESION CRITICA BARS --------37.8
- VOLUMEN CRITICO Cm^3/g-----1.356

LAS PROPIEDADES MAS RELEVANTES DEL SF_6 QUE LO HACEN MUY APRECIABLE EN LA INDUSTRIA ELECTRICA SON:

- ALTA RESISTENCIA DIELECTRICA A 4.5 BAR Y 20° C, ALCANZA LA DEL ACEITE, DUPLICA LA DEL N_2 Y TRIPLICA LA DEL AIRE.

TRANSPORTACION DEL SF_6

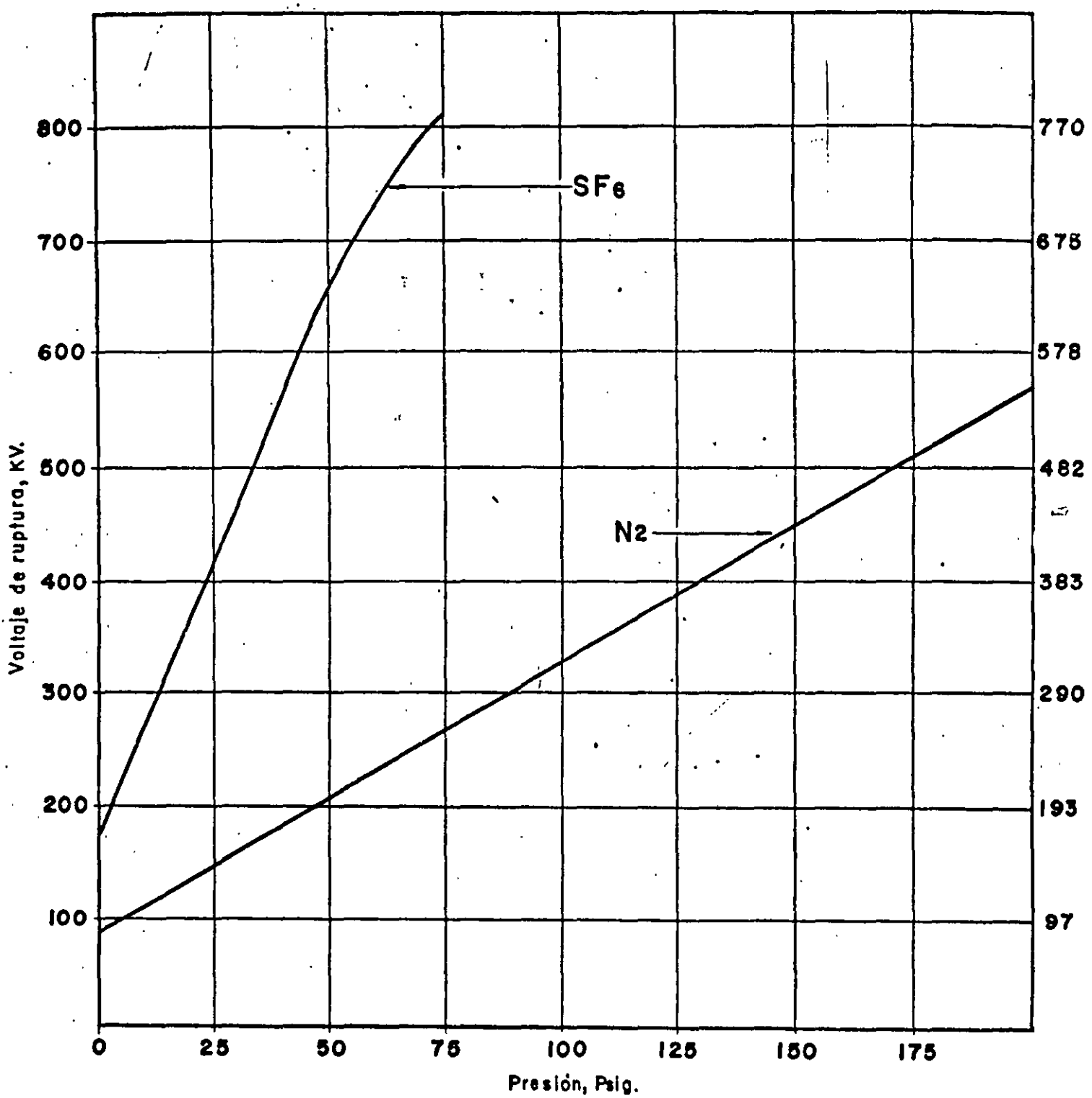
- SE EMBARCA EN CILINDROS DE ACERO DE 95 lb. DE CAPACIDAD (2640 Pul^3)
- EL COLOR DE NORMA ES ALUMINIO CON FRANJA VERDE
- DENTRO DEL CILINDRO SE ENCUENTRA LICUADO Y EN EQUILIBRIO CON SUS PROPIOS VAPORES
- EL CILINDRO TIENE UNA VALVULA DE SEGURIDAD QUE OPERA A 2600 ~ 3000 Psi

- EXCELENTE MEDIO AISLANTE

TABLA PROPIEDADES ELECTRICAS

- RIGIDEZ DIELECTRICA (VS. N_2 = 1) ---- 2.3 a 2.5
- CONSTANTE DIELECTRICA

  a 25° C 1 ATM ---------- 1.002049
- PERDIDAS, TANG. δ, 1 ATM -------- $< 2 \times 10^{-7}$



Voltaje de ruptura y campo electrico vs presión de SF_6 y N_2.

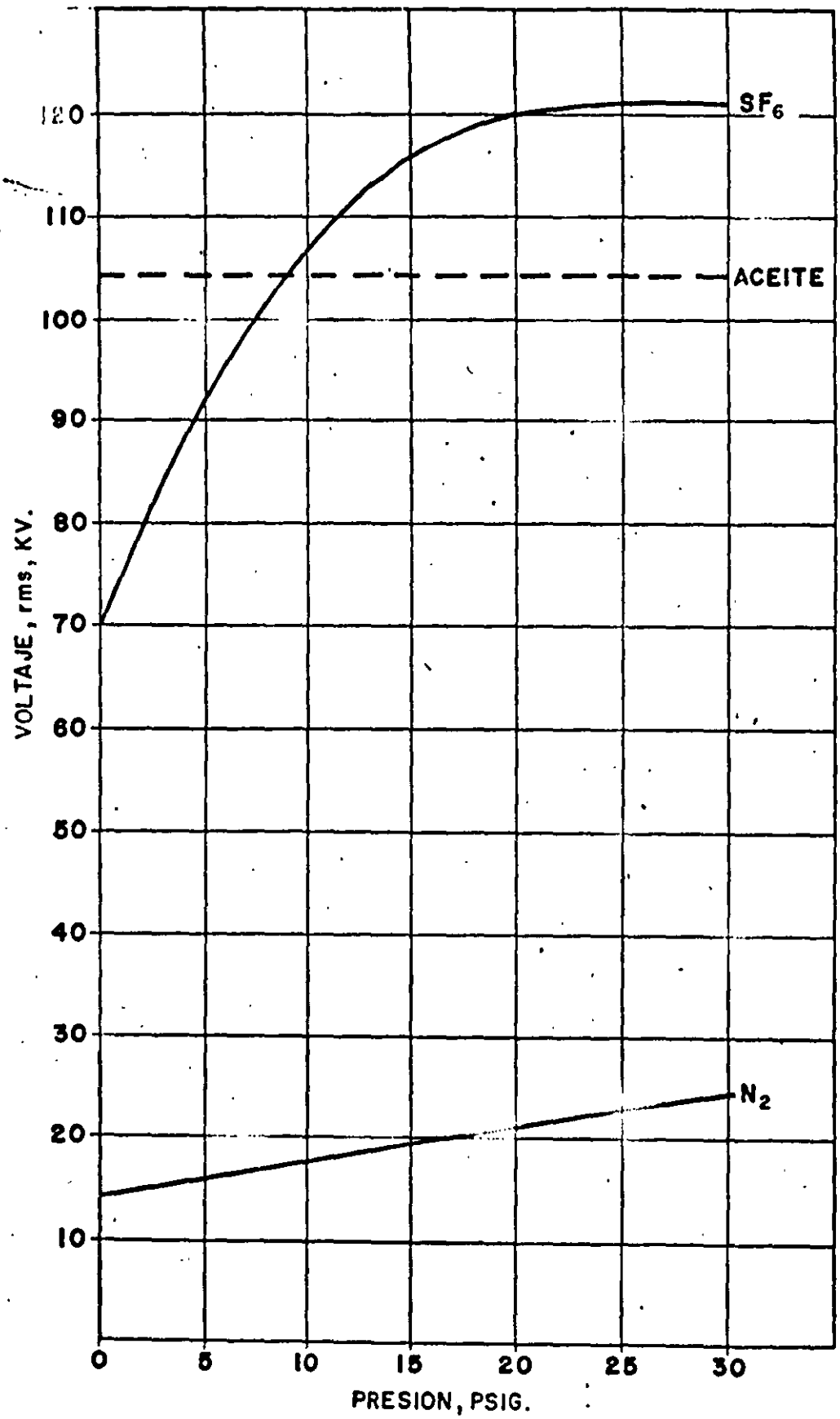


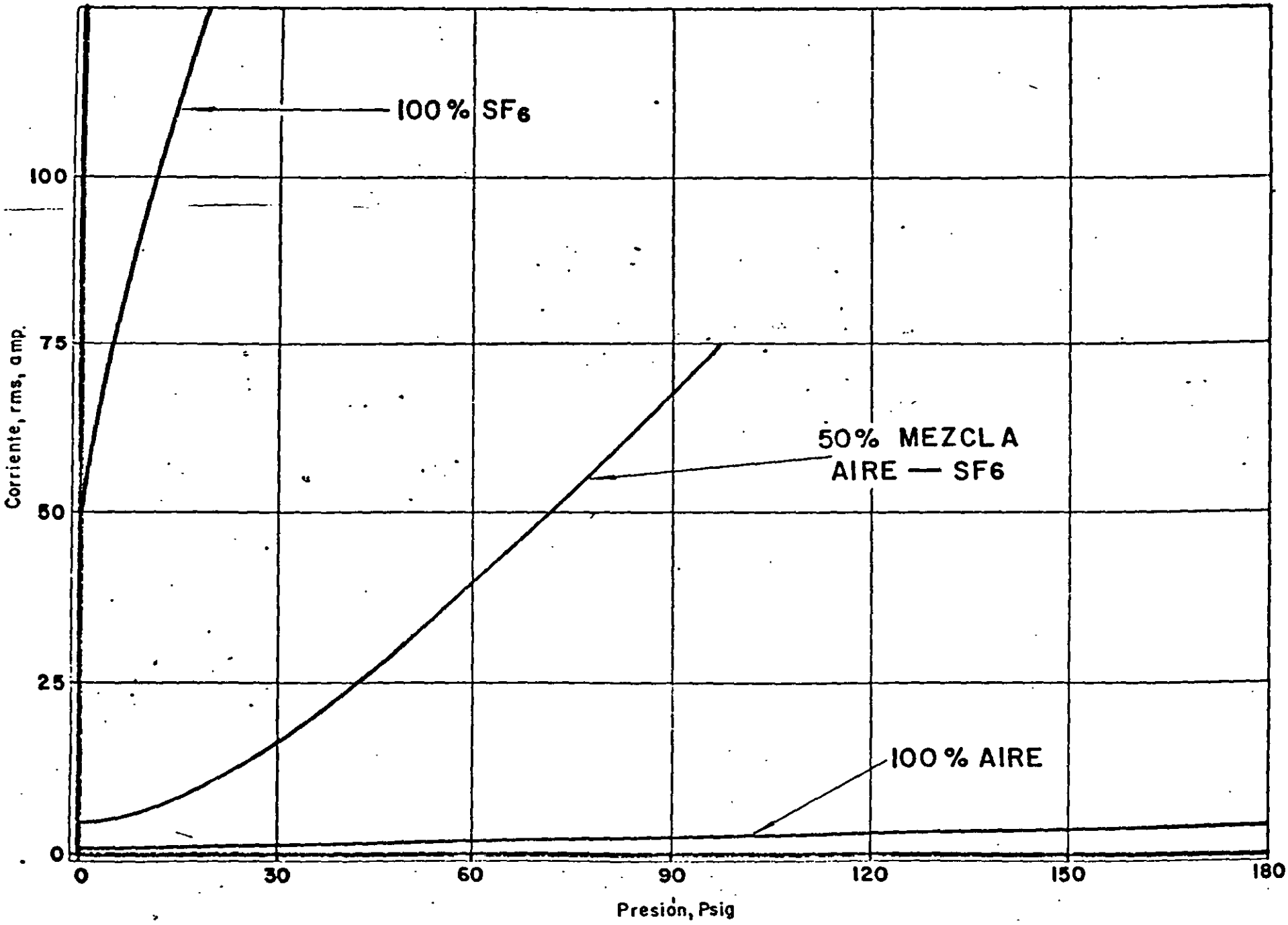
FIG. 2 RIGIDEZ DIELECTRICA DEL SF_6 vs N_2 (A 60 Hz)

- GRAN HABILIDAD

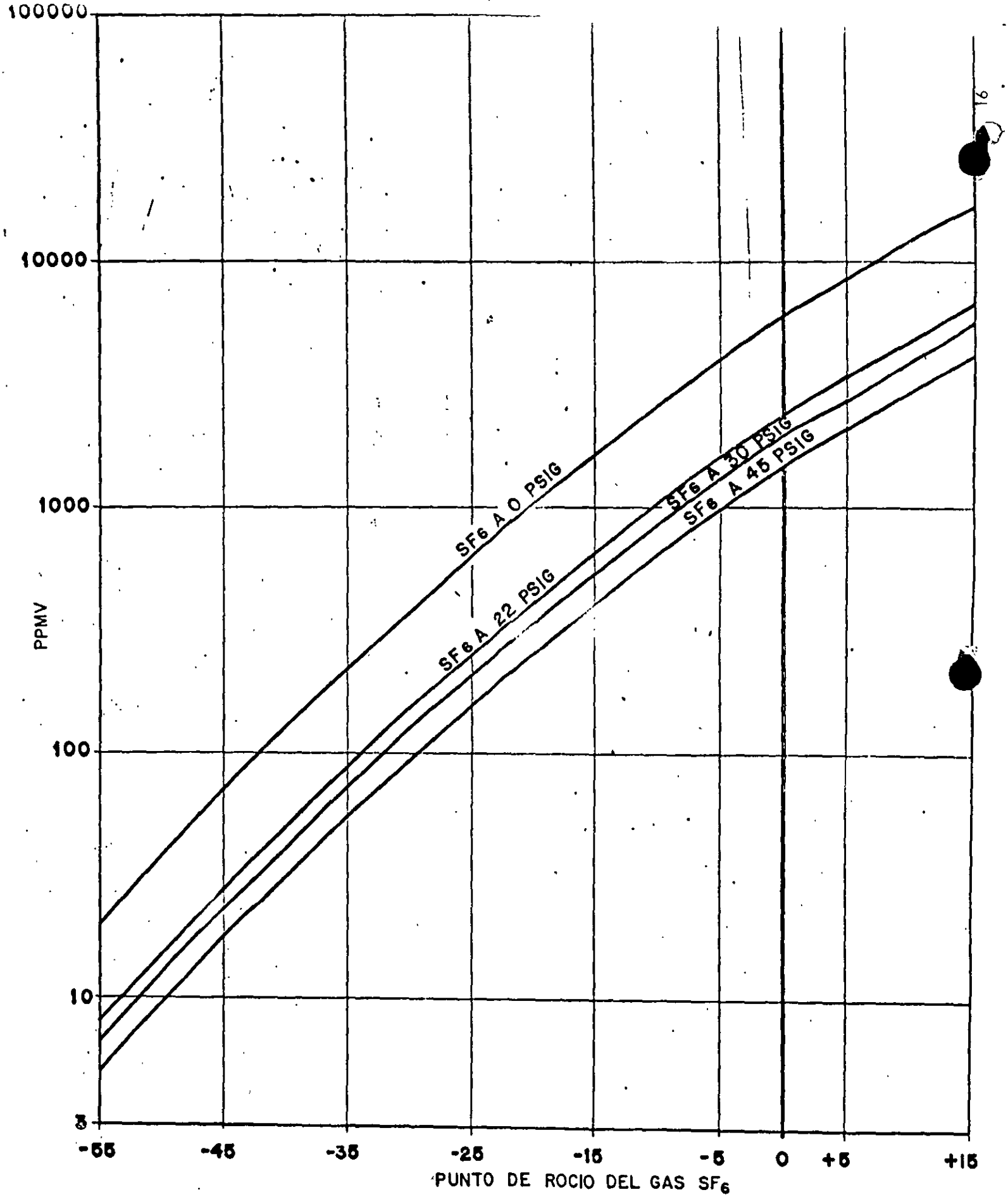
  PARA EXTINGUIR

  EL ARCO ELECTRICO

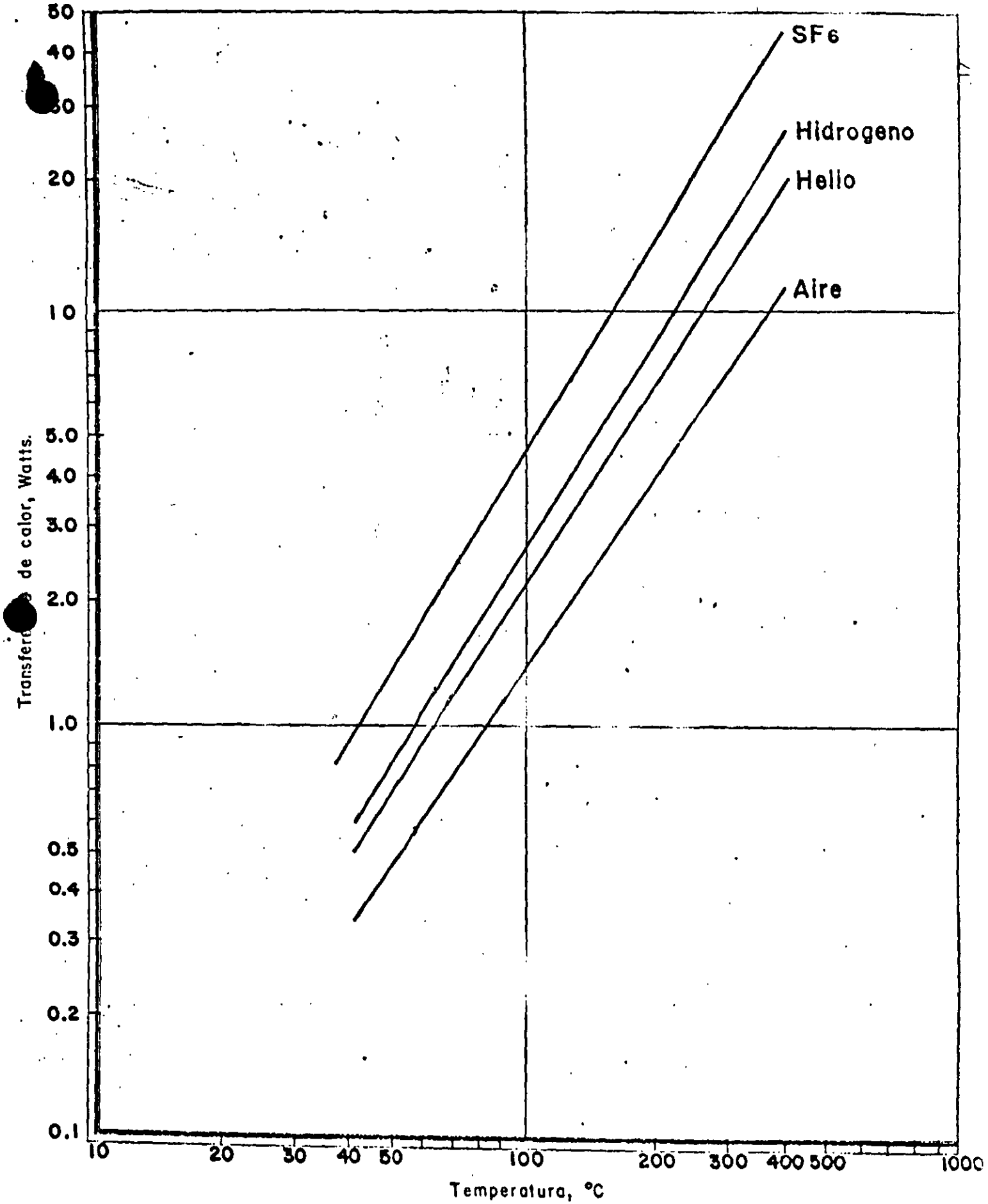
- PUEDE INTERRUMPIR CORRIENTES DEL ORDEN DE 100 VECES LAS QUE INTERRUMPE EL AIRE.



Habilidad de extincion del arco — SF6 vs aire.



CONTENIDO DE HUMEDAD EN PPMV VS PUNTO DE ROCIO.



Transferencia de calor por convección y radiación — SF_6 vs otros gases.

- EXCELENTE ESTABILIDAD TERMICA
- BUENA CONDUCTIBILIDAD TERMICA

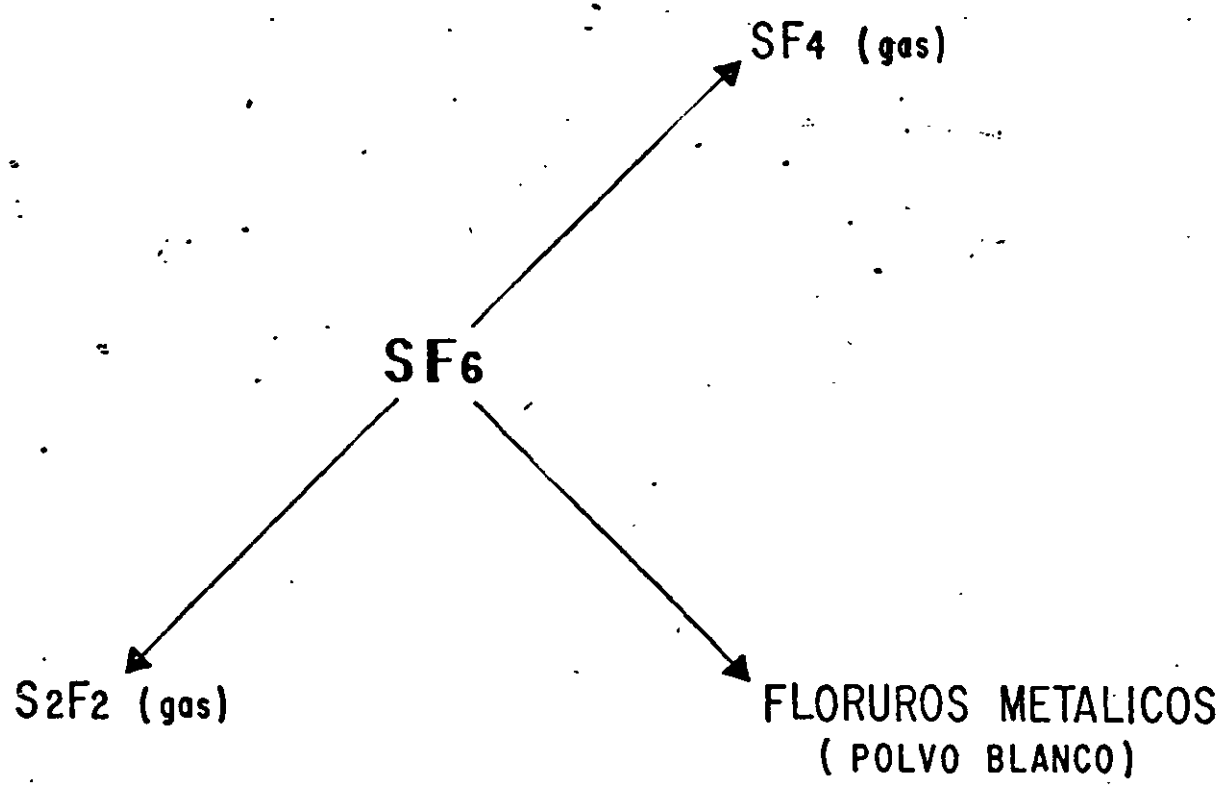
DESVENTAJAS DEL SF_6

- ES DE IMPORTACION
- CARO CILINDRO
- EN PRESENCIA DE ARCOS ELECTRICOS Y/O DESCARGAS PARCIALES SE DESCOMPONE GRADUALMENTE FORMANDO FLUORINAS
- CONTAMINANTE

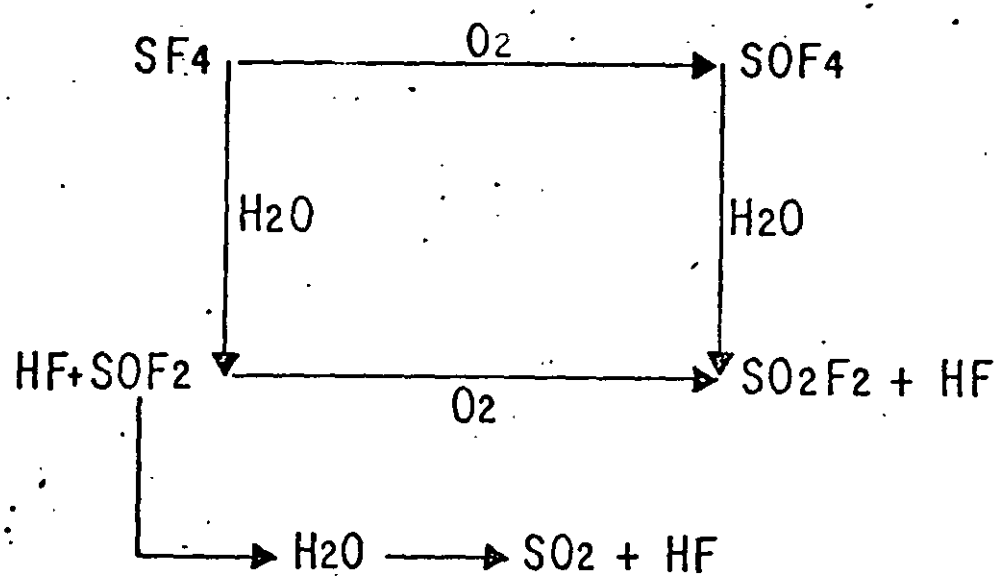
- SI ESTE POLVO ABSORBE HUMEDAD DEL SISTEMA O DE LA PIEL (REPARACIONES)
- PUEDE PRODUCIR QUEMADURA, ESCOSOR, ETC.
- Y CON EL H_2 DEL AGUA PRODUCIR ACIDO FLUORHIDRICO (HF).

- LAS FLUORINAS SON QUIMICAMENTE MUY ACTIVAS.
- SE COMBINAN CON EL METAL ADYACENTE PRODUCIENDO FLUORUROS METALICOS.
- ESTOS SE DEPOSITAN SOBRE AISLADORES Y ENVOLVENTE EN FORMA DE UN POLVO BLANCO.
- ESTE POLVO EN CANTIDADES CONSIDERABLES PUEDE DEFORMAR EL CAMPO ELECTRICO PRODUCIENDO DESCARGAS (FLASHOVERS).

DESCOMPOSICION DEL SF_6 SOMETIDO A ARCO ELECTRICO



REACCIONES QUIMICAS DEL SF_4



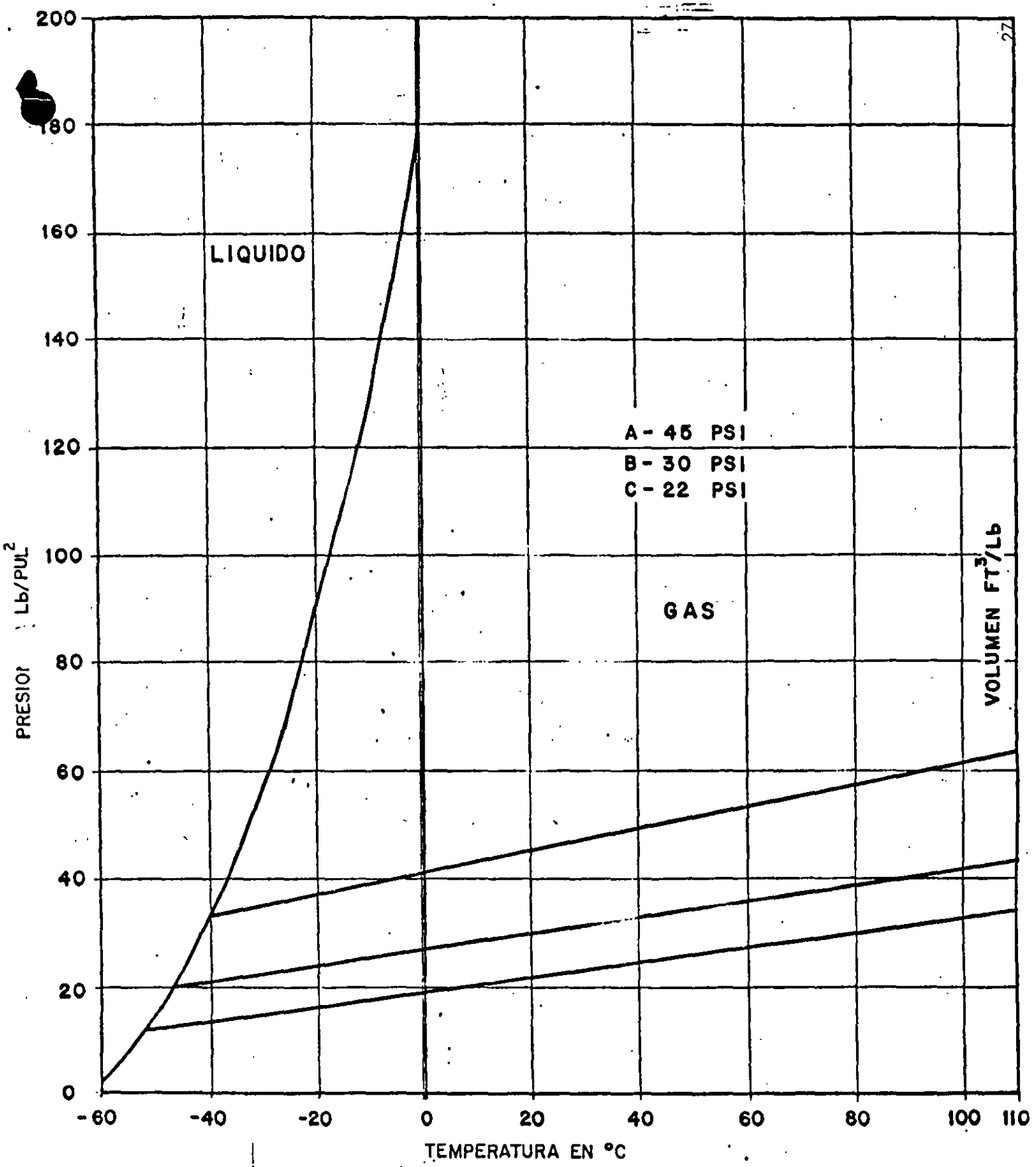
- SE ACUMULA EN PARTES BAJAS DE EDIFICIOS Y SUBESTACIONES.
- COMO EL N_2 EN CANTIDADES INSUFICIENTES DE AIRE PRODUCE ASFIXIA.

UTILIZACION

- EN INTERRUPTORES DE POTENCIA
- EN SUBESTACIONES DE FASE AISLADA (GIS)
- EN LINEAS DE TRANSMISION (GIT)

OTROS USOS

- CABLES COAXIALES
- TRANSFORMADORES DE POTENCIAL
- ANTENAS PARABOLICAS (WAVEGUIDES)
- ACELERADORES DE PARTICULAS
- FUNDICIONES A BASE DE MAGNESIO
- COMO DETECTOR DE FUGAS
- EN METEOROLOGIA (MOVIMIENTOS DE MASAS DE AIRE)
- EN BOCINAS DE ALT. PODER



VARIACION DE PRESION Y TEMPERATURA
DEL SF_6 A DENSIDAD CONSTANTE

SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF_6
G.I.S.

- POR SUS UNIONES
- POR EL NUMERO DE CONDUCTORES POR ENVOLVENTE
- POR EL MATERIAL DE LA ENVOLVENTE

SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF_6

G.I.S.

- UNIONES SOLDADAS
- UNIONES BRIDADAS
- FASE POR ENVOLVENTE
- TRES FASES POR ENVOLVENTE
- DE FIERRO
- DE ALUMINIO

SUBESTACIONES CON UNIONES SOLDABLES

- LUGARES DENSAMENTE POBLADOS
- COSTO DEL TERRENO: ALTO
- POCO MANTENIMIENTO
- EN FRANCO DESUSO
- ALTO COSTO DE INSTALACION Y MATERIAL

SECUENCIA DE MONTAJE

- INTERRUPTORES
- ESTRUCTURAS
- PREPARATIVOS SOBRE CUCHILLAS Y BUSES
- PLATAFORMA DE MADERA Y CASETAS DE LONAS
- CUCHILLAS SENCILLAS
- CUCHILLAS DOBLES
- BUSES

(CONTINUACION)

- TP's
- SALIDA DE CABLE
- SALIDA PARA TRANSFORMADOR.
- ADAPTADOR PARA BOQUILLAS.
- PRUEBA DE HERMETICIDAD.
- SECADO.
- LLENADO DE GAS.
- PRUEBA DE HERMETICIDAD.

PRUEBA DE HERMETICIDAD:

- TERMINADA INSTALACION INCLUYENDO EQUIPO DE MONITOREO
- SE PRESURIZA EL SISTEMA A 45 lb/pul^2 CON MEZCLA DE 98 % N_2 Y 2 % SF_6.
- SE UTILIZA DETECTOR DE GASES HALOGENOS.
- SE REVISA EN SOLDADURAS, EMPAQUES, VALVULAS Y TUBERIAS DE LIGA
- TAMBIEN SE PUEDE UTILIZAR JABONADURA.

SECADO

- BOMBA DE VACIO DE 150 CF M
- CAPACIDAD PARA ALCANZAR 10 μ A BRIDA CIEGA.
- SE PUEDE UTILIZAR TUBERIA DE ALUMINIO 4" Ø
- INSTALACION DE FILTROS P/ACEITE.
- VACIO HASTA 500 μ - 24 HRS Ó MAS.

LLENADO DE GAS

- DE CILINDROS A BUSES Y CUCHILLAS DIRECTAMENTE BAJO PROCESO DE VACIO
- SE INSTALA FILTROS ESPECIALES P/EVITAR PASO DE IMPUREZAS EN EL GAS
- LA PRESION DE LLENADO NO DEBE EXEDER 10 lb./pulg.^{2} HASTA ALCANZAR 30 lb/in^2
- PPMV DEL GAS $\leq$ 50/CILINDRO MAXIMO
- LA HUMEDAD PROMEDIO DEL SISTEMA $\leq$ 150 PPM
- PRUEBA DE HERMETICIDAD

SUBESTACIONES CON UNIONES BRIDADAS

- DE TAMAÑO MAS REDUCIDO QUE LAS SOLDABLES
- IDEALES PARA INSTALARSE DENTRO DE EDIFICIOS
- SE CONTROLA MEJOR LA HERMETICIDAD DE LA S.E.
- NO ROMPE LA ARMONIA ARQUITECTONICA DE LOS ALREDEDORES
- COSTO DE INSTALACION Y MATERIAL DE CONSUMO MUCHO MENOR (20°/o) DE LAS SOLDABLES

- SECADO
- LLENADO
- PRUEBA DE HERMETICIDAD
- SIGUIENDO LAS MISMAS POLITICAS EXPLICADAS PARA LAS TIPO SOLDABLE.

PRUEBAS PARA PUESTA EN SERVICIO

VARIAS ALTERNATIVAS.

- DE IMPULSO
- DE POTENCIAL APLICADO C. D.
- DE POTENCIAL APLICADO CON C.A.

a) CON CIRCUITO RESONANTE.

b) CON TRANSFORMADOR ELEVADOR.

PRUEBA DE IMPULSO

- MUY SIGNIFICATIVA
- PARA EL CAMPO TIENE RESTRICCIONES.

  a) MEJOR EN INSTALACIONES DEFINIDAS (LABORATORIO)

  b) EQUIPO DELICADO Y NO SE RECOMIENDA SU TRANSPOR TACION AL CAMPO.

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO CON C.D.

- PRACTICA Y FACIL DE REALIZAR EN CAMPO
- LAS PARTICULAS RESIDUALES TIENDEN A ALINEARSE EN EL CAMPO ELECTRICO HASTA PRODUCIR DESCARGAS SOBRE LOS AISLADORES SOPORTES DE BUS SIN SER UNA FALLA REAL
- LOS FABRICANTES NO LA RECOMIENDAN

PRUEBA CON POTENCIAL APLICADO CON CA

a).- CIRCUITO RESONANTE

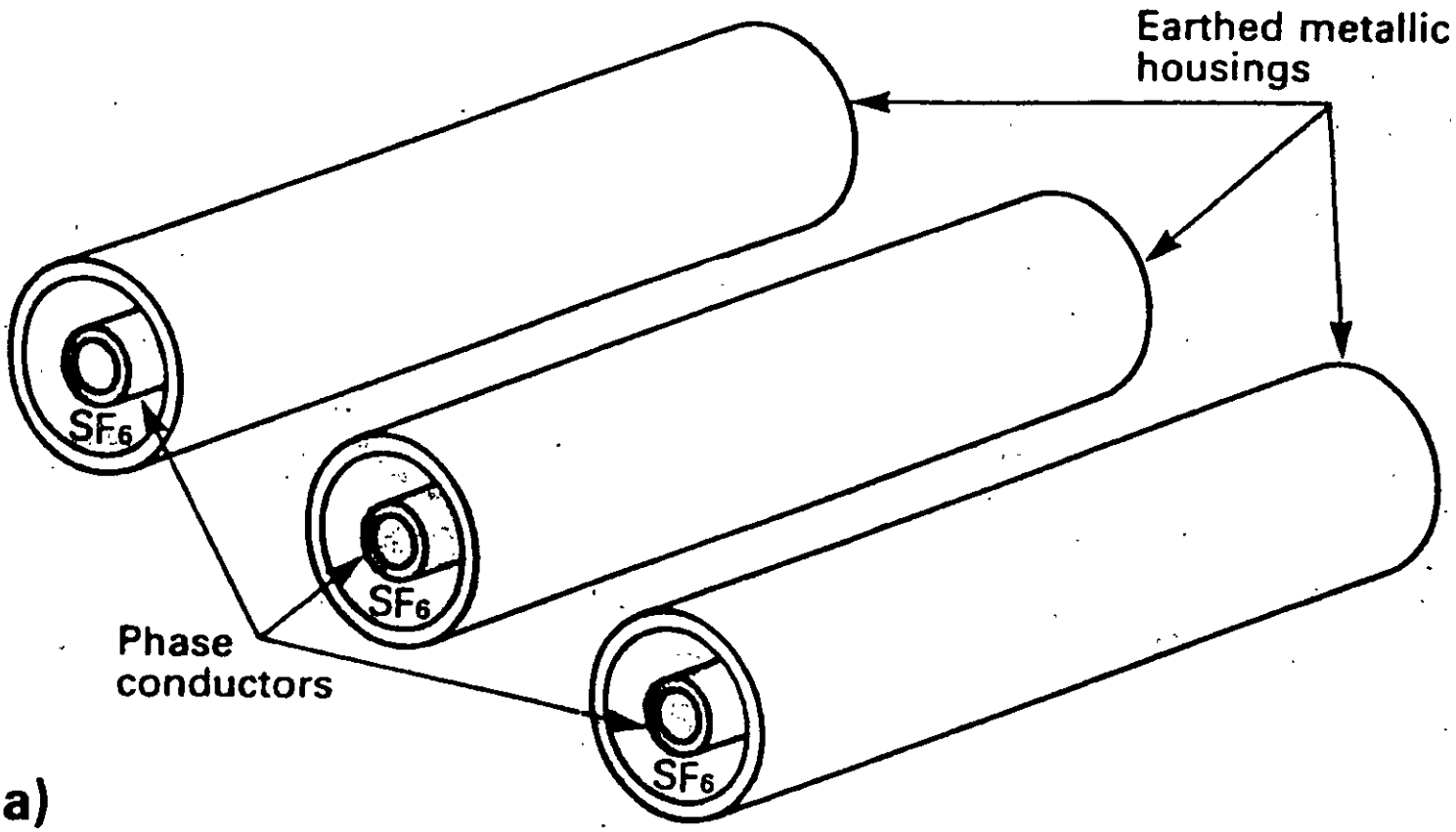
- UTILIZA EQUIPO HIPOTRONICS
- CONSISTE DE UN TR. QUE ENTRA EN RESONANCIA CON LA CAPACITANCIA DEL CIRCUITO BAJO PRUEBA
- IDEAL PARA PROBAR SE's COMPLETAS
- EQUIPO PORTATIL

b) TRANSFORMADOR ELEVADOR

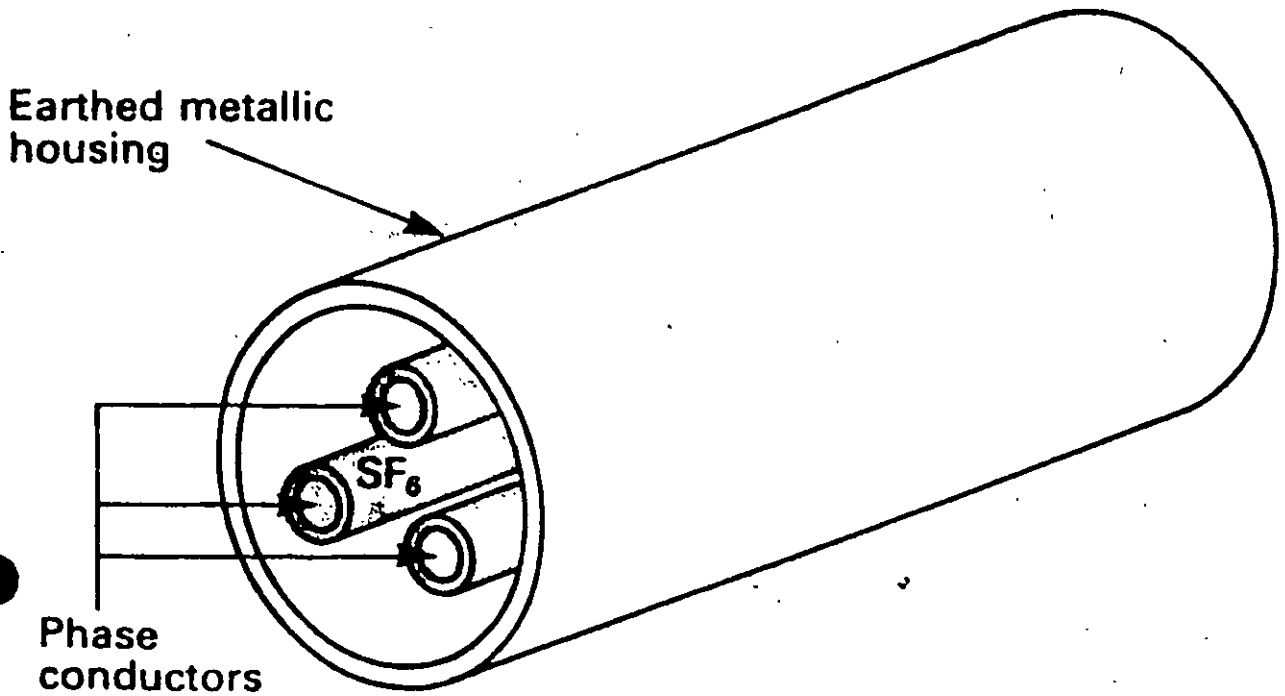
- SE REQUIERE DE LA POTENCIA ADECUADA
- ES NECESARIO CONOCER LA CAPACITANCIA DEL CIRCUITO BAJO PRUEBA
- L y F POSEE UN EQUIPO M CA. BALTEAU QUE UTILIZA PARA EFECTUAR ESTA PRUEBA SECCIONANDO LA S.E. DEBIDO A LA LIMITACION DE POTENCIA
- SE REQUIERE DE PREPARATIVOS ESPECIALES REPETIDOS COMO SON INSTALACION DE BOQUILLAS DE PRUEBA Y DESCONEXION DE T P's, VACIO Y LLENADO DE S F6, etc.

SECUENCIA DE MONTAJE

- INTERRUPTORES
- ESTRUCTURA
- PREPARATIVOS GENERALES
- ENSAMBLE DE BUSES Y CUCHILLAS Y T P'S
- SALIDAS DE CABLES
- SALIDAS HACIA TRANSFORMADORES
- ADAPTADORES DE BOQUILLAS DE TR.
- SECADO
- LLENADO FINAL
- PRUEBA DE HERMETICIDAD


Earthed metallic housings
SF6
SF6
SF6
Phase conductors

a)


Earthed metallic housing
SF6
Phase conductors

PRUEBA CON POTENCIAL APLICADO CON CA

a).- CIRCUITO RESONANTE

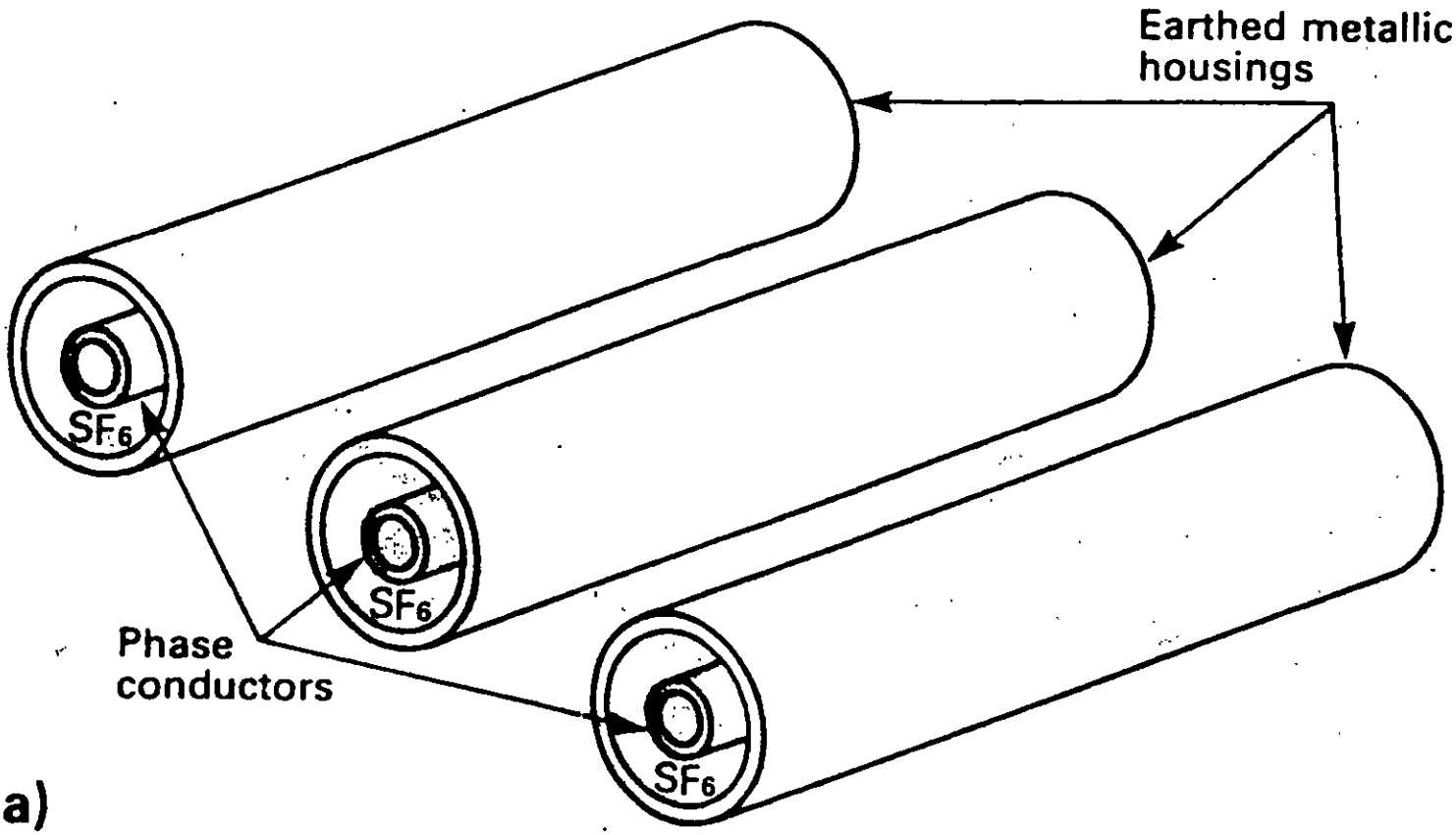
- UTILIZA EQUIPO HIPOTRONICS
- CONSISTE DE UN TR. QUE ENTRA EN RESONANCIA CON LA CAPACITANCIA DEL CIRCUITO BAJO PRUEBA
- IDEAL PARA PROBAR SE's COMPLETAS
- EQUIPO PORTATIL

b) TRANSFORMADOR ELEVADOR

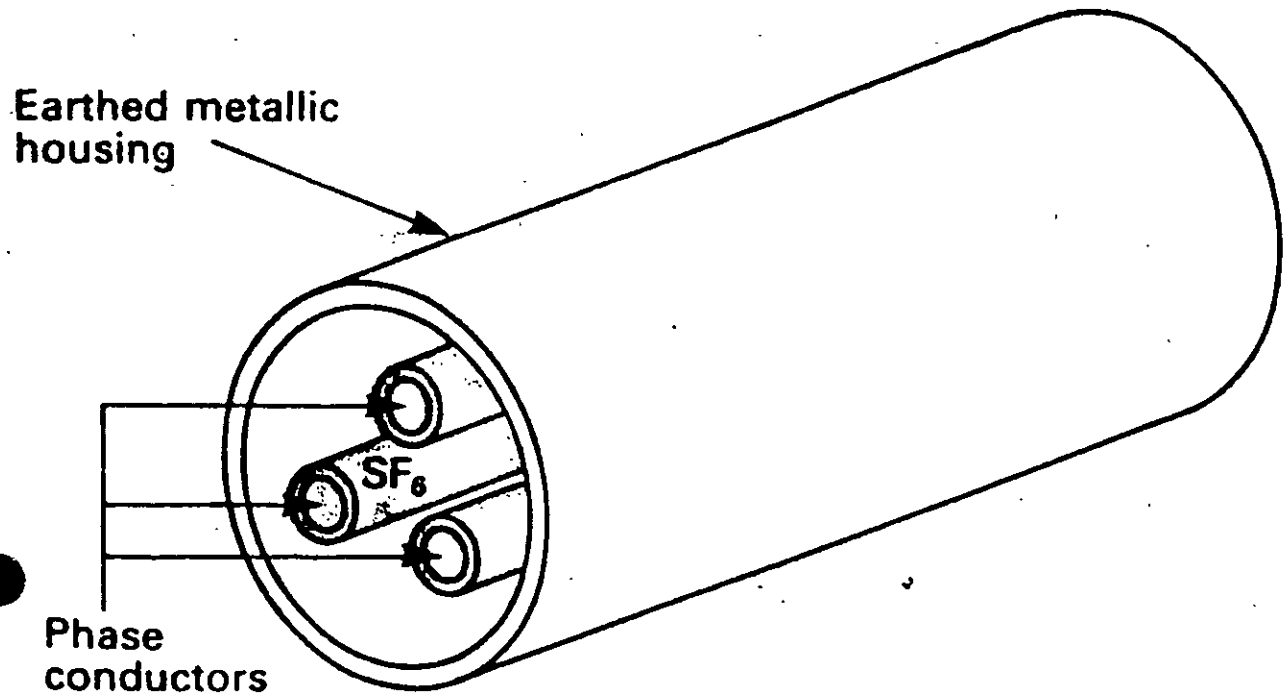
- SE REQUIERE DE LA POTENCIA ADECUADA
- ES NECESARIO CONOCER LA CAPACITANCIA DEL CIRCUITO BAJO PRUEBA
- L y F POSEE UN EQUIPO M CA. BALTEAU QUE UTILIZA PARA EFECTUAR ESTA PRUEBA SECCIONANDO LA S.E. DEBIDO A LA LIMITACION DE POTENCIA
- SE REQUIERE DE PREPARATIVOS ESPECIALES REPETIDOS COMO SON INSTALACION DE BOQUILLAS DE PRUEBA Y DESCONEXION DE T P's, VACIO Y LLENADO DE S F6, etc.

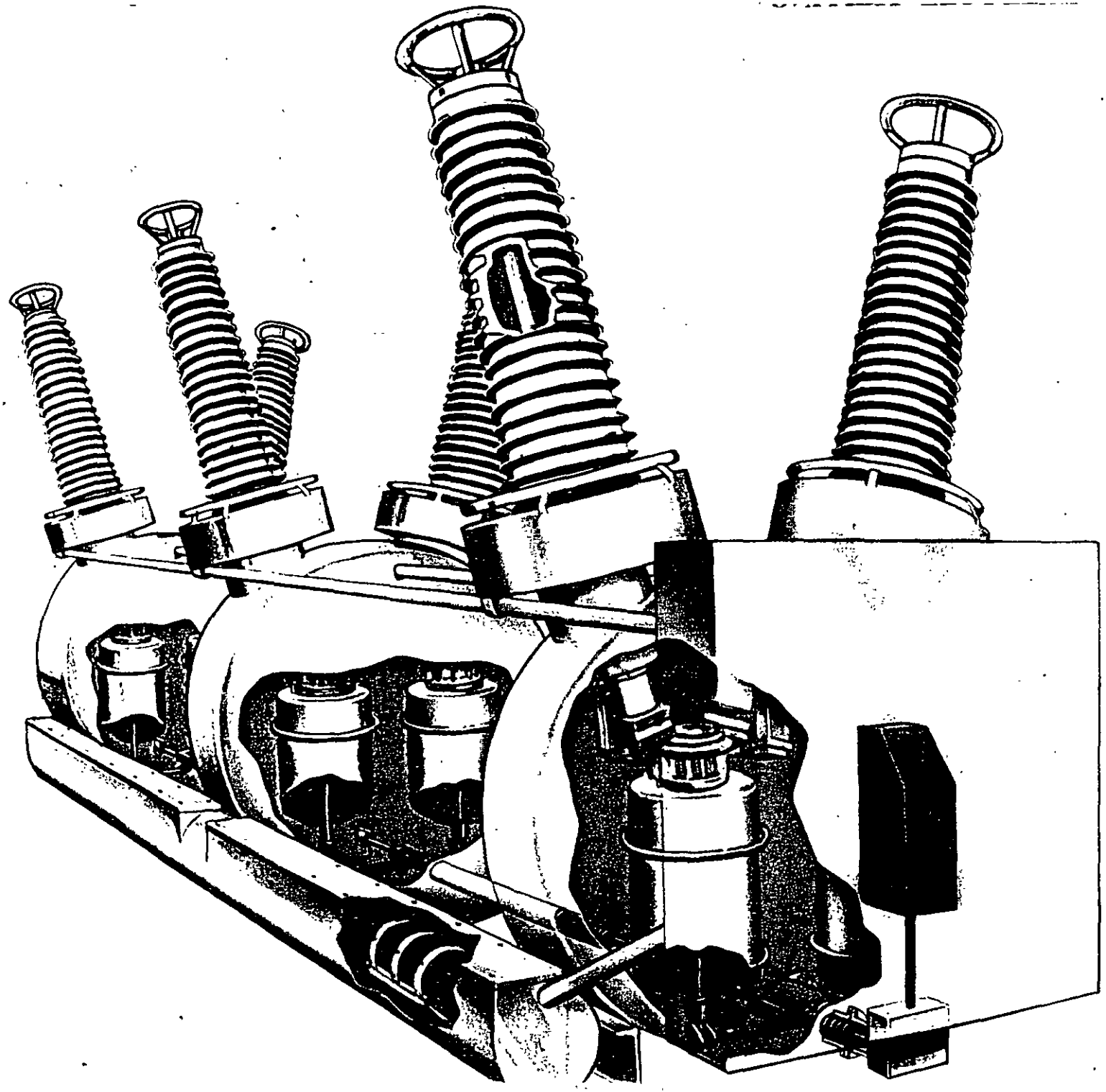
SECUENCIA DE MONTAJE

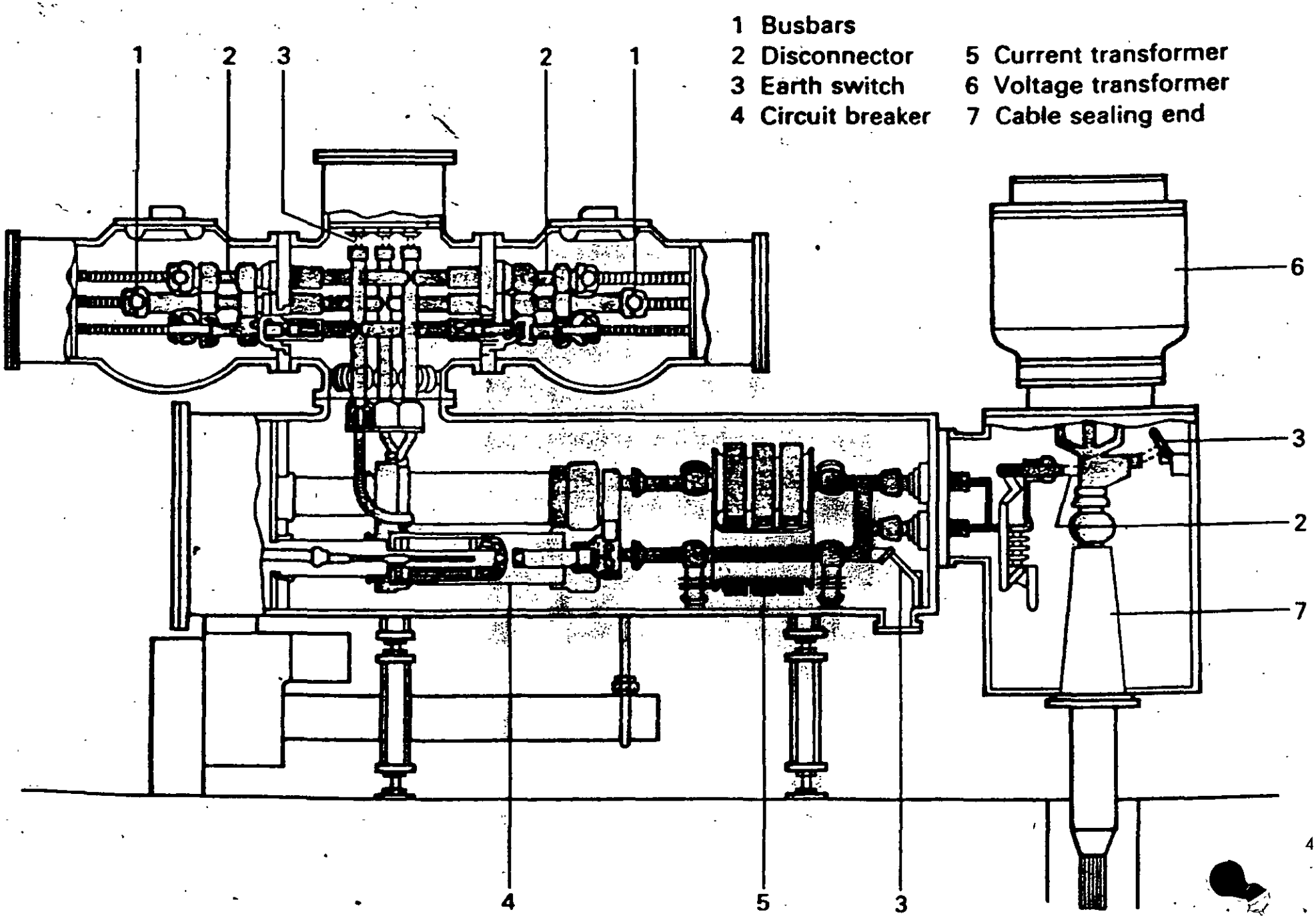
- INTERRUPTORES
- ESTRUCTURA
- PREPARATIVOS GENERALES
- ENSAMBLE DE BUSES Y CUCHILLAS Y T P'S
- SALIDAS DE CABLES
- SALIDAS HACIA TRANSFORMADORES
- ADAPTADORES DE BOQUILLAS DE TR.
- SECADO
- LLENADO FINAL
- PRUEBA DE HERMETICIDAD


Earthed metallic housings
SF6
SF6
SF6
Phase conductors

a)


Earthed metallic housing
SF6
Phase conductors




1 Busbars
2 Disconnector
3 Earth switch
4 Circuit breaker
5 Current transformer
6 Voltage transformer
7 Cable sealing end
1
2
3
2
1
6
3
2
7
4
5
3

GHE Series SF_6 Gas Reclaimers

Quality Design and Construction

Velcon GHE Series Reclaimers are constructed with the highest quality components available. All-stainless steel valving and piping are used throughout. Double ferrule fittings eliminate leakage caused by vibration. Oil-free compressors on the higher volume units eliminate costly oil separator filter changes and a possible source of oil contamination. High performance vacuum pumps on all models insure fast, reliable operation.

Long Service Life with Low Maintenance

Quality components and conservative, state of the art design have been combined in GHE Series Gas Reclaimer Systems to provide long, trouble-free service life requiring minimum maintenance.

Standard Features

- Oil-free compressor*
- Two inlet ports
- Built-in SF_6 scale *
- System map on control panel
  Quick-change molecular sieve purification filters
- Two particulate filters
- High vacuum pump
- Electronic vacuum gauge
- ASME code storage tank
- Service hoses and fittings
- Power cable
- 100% manufactured in the USA

* Not available on GHE25MN *Mini* Reclaimer

Options

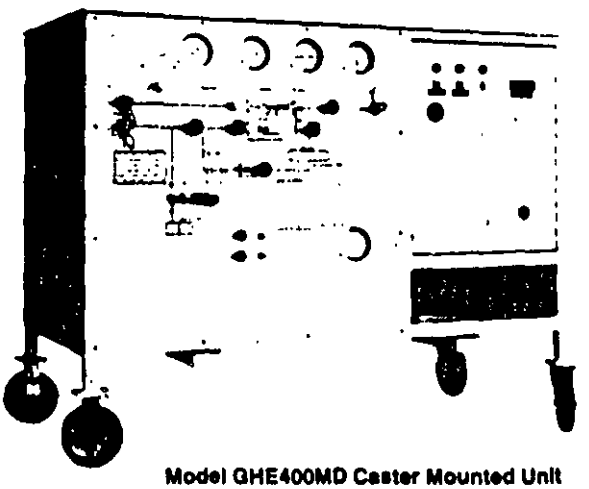
- Weatherproof enclosures
- Trailer mounting
- Larger vacuum pump
- Larger compressors
- Larger storage tanks

Trailers

- Custom built to your specifications

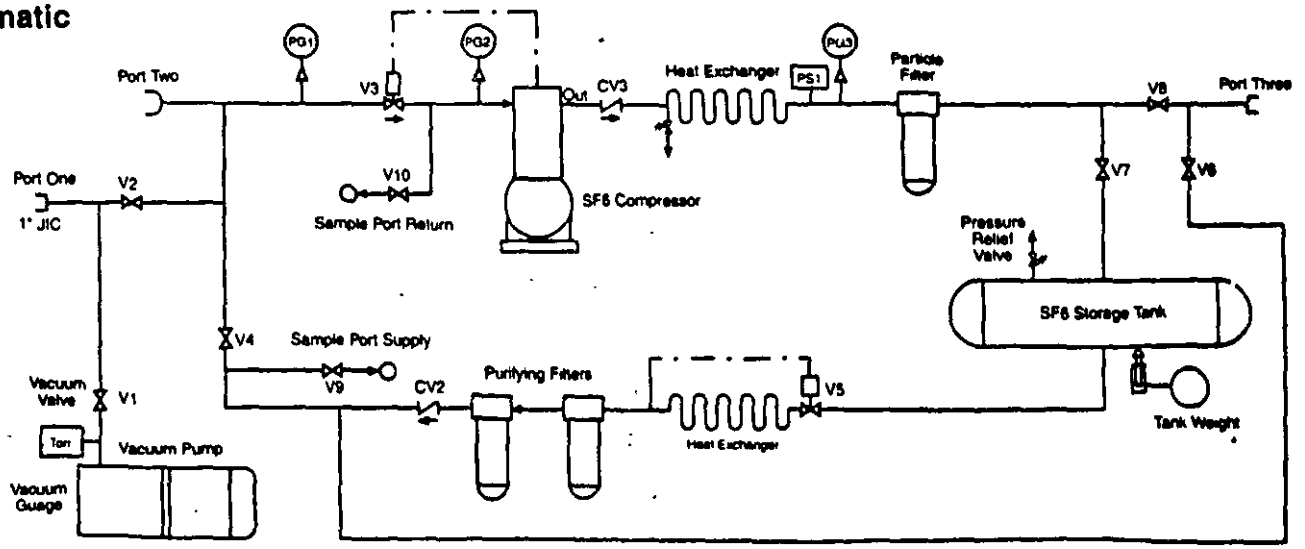
Other SF_6 Products and Services

- A full range of SF_6 handling equipment is available. Please contact your local representative or Velcon Filters for details.



Model GHE400MD Caster Mounted Unit

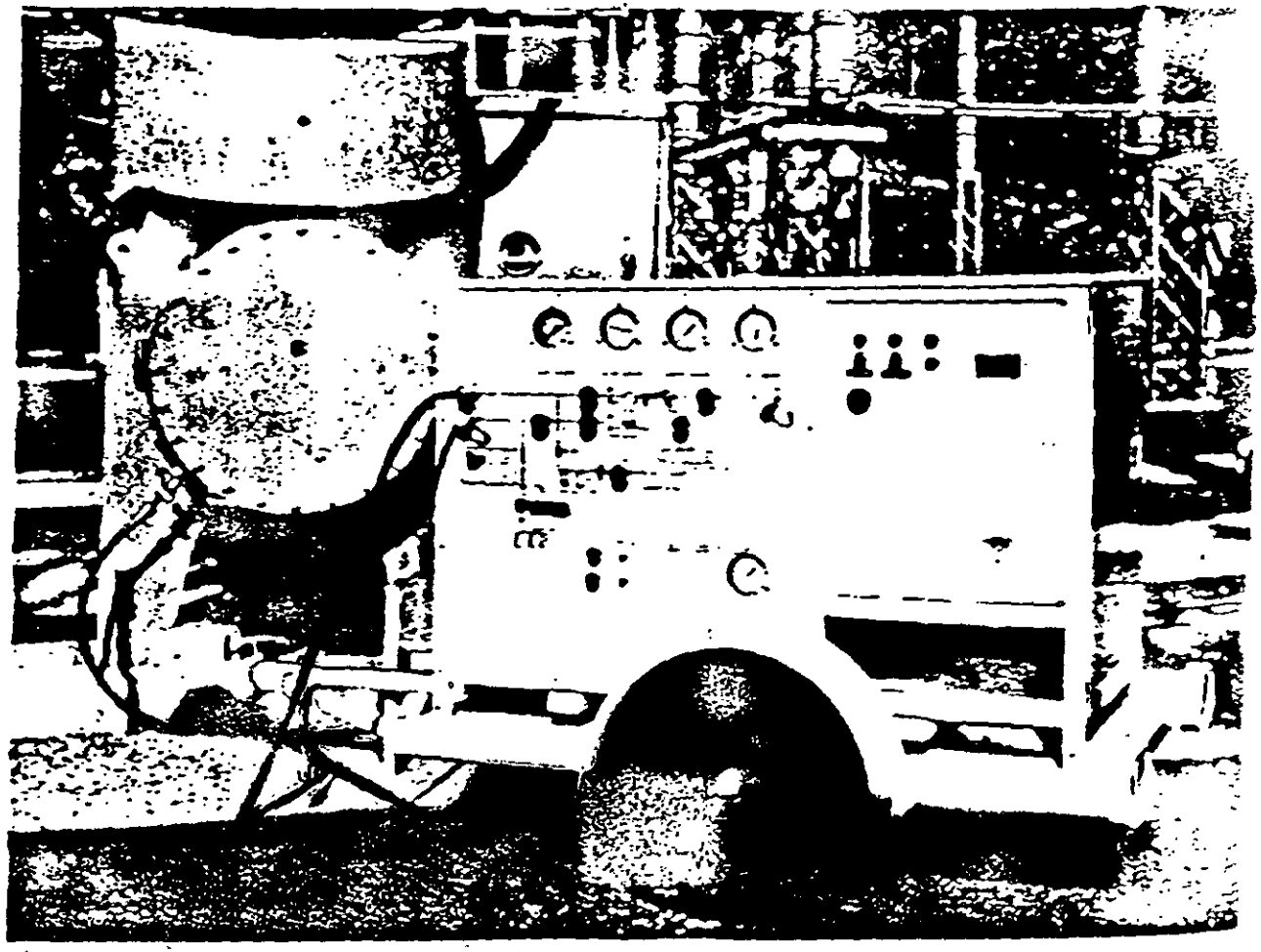
GHE Series Piping Flow Schematic



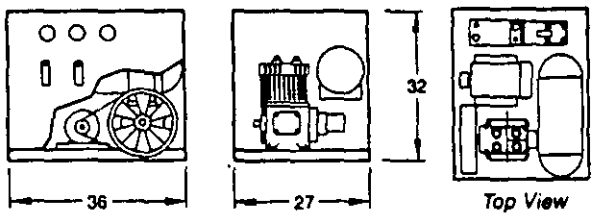
Restore SF_6 Insulating Gas to a *like new* conditon

FEATURES

- 99% + Gas Reclamation Each Cycle
- Fast, Easy Operation
- Lower Operating Costs
- Reduced System Downtime
- No Refrigeration Required
- Safe, Efficient Gas Handling

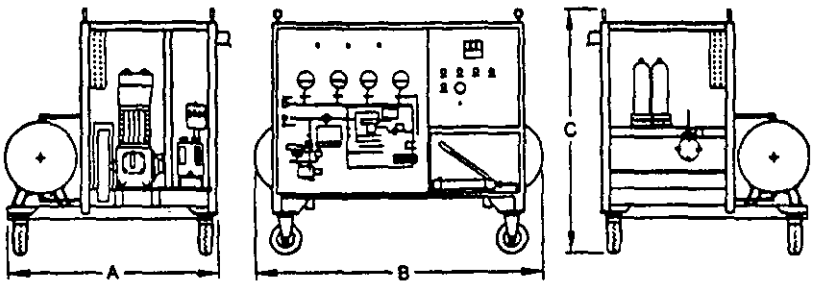


GHE25MN Unit Dimensions (on drawings >)



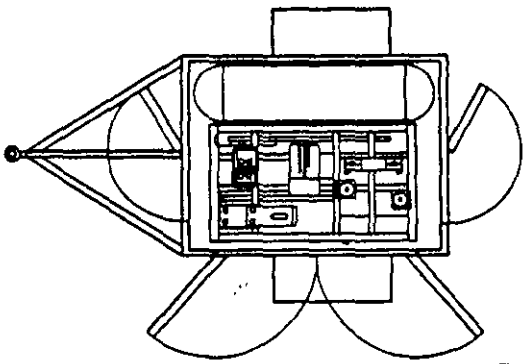
GHE400MD and GHE2000MX Caster Mounted Unit Dimensions

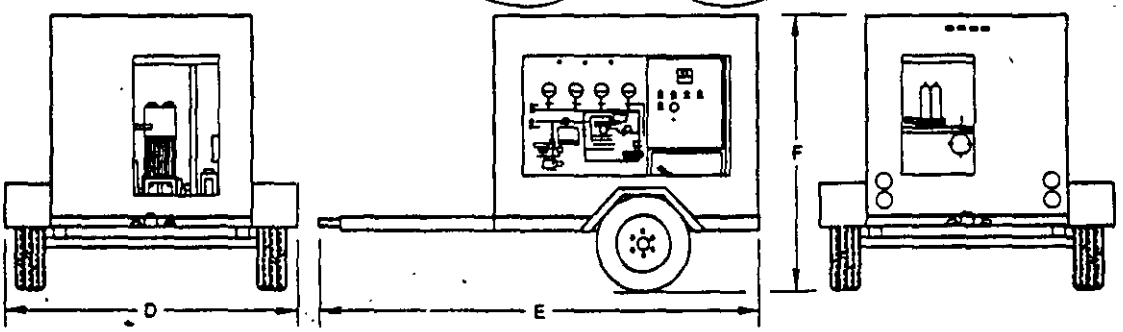
Model	A	B	C	Weight
GHE400MD	55"	66"	65"	1,625 lbs.
GHE2000MX	74"	104"	65"	3,500 lbs.



GHE Series Trailer Mounted Mobile Unit Dimensions

Model	D	E	F	Weight
GHE400MD	89"	130"	82"	3,475 lbs.
GHE2000MX	102"	168"	85"	5,800 lbs.





GHE Series Model Selection Table

Model	GHE25MN *Mini - Small Capacity Reclaimer*	GHE400MD *Midi - Medium Duty Reclaimer*	GHE2000MX *Maxi - High Capacity Reclaimer*
Storage Designation - Pounds of SF_6	25	400	2000
Vacuum Pump Displacement - CFM	10	14	57
Vacuum Pump HP	0.75	1.0	3.0
SF_6 Compressor Disp. - CFH	120	240	570
SF_6 Compressor HP	2.0	3.0	5.0
SF_6 Compression Rate - Pounds/Hour	50	100	425
Tank Heater kW	n.a.	1.5	3.0
Total Power Requirement - kW	2.0	4.5	7.5
230-460 Cycles/3 Phase	Optional	Optional	Standard
115-230 Cycles/1-Phase	Standard	Standard	Optional
Weight - Pounds	650	1625	3500