

0607 DESCARTE

FACULTAD DE INGENIERIA

U. N. A. M.

" COMPORTAMIENTO DE LOS AISLAMIENTOS EN LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA SOMETIDOS A LAS PRUEBAS DESTRUCTIVAS Y A LAS NO DESTRUCTIVAS. "

T E S I S

que para obtener el título de

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a ;

ALEJANDRO LOPEZ MUÑOZ

México, D. F.

1963





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A mis queridos padres

Don Jorge López Vázquez

Doña Lucía M. de López

con gratitud y cariño

A Priscilla

con amor

A mis hermanos y parientes

A mis amigos y compañeros

A mis maestros

INTRODUCCION

LA VIDA DE LOS TRANSFORMADORES DEPENDE DE SU AISLAMIENTO. POR LO TANTO, SU DISEÑO DEBE TENER MARGENES ADECUADOS PARA TODAS LAS CONDICIONES DE VOLTAJES QUE SE ESPERA QUE EL TRANSFORMADOR DEBA SOPORTAR EN EL TRANCURSO DE SU VIDA NORMAL DE OPERACION. EL AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DEBE SOPORTAR EL PESO DE LAS BOBINAS, Y CUBRIR DICHAS BOBINAS CONTRA ESFUERZOS ELECTRICOS, MECANICOS Y TERMICOS DE INTENSIDAD VARIABLE. DE ESTOS FACTORES, LOS REQUERIMIENTOS ELECTRICOS PRESENTAN - LOS PROBLEMAS DE DISEÑO MAS DIFICILES.

LA MEJOR CONDICION PARA UN BUEN DISEÑO ES, DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS ESFUERZOS ELECTRICOS, ENCERRAR COMPLETAMENTE LA BOBINA EN AISLAMIENTO SOLIDO, PERO - ADVERSAMENTE, DEBIDO A QUE LOS MATERIALES SOLIDOS USADOS COMO DIELECTRICOS TIENEN GENERALMENTE UNA CONDUCTIVIDAD TERMICA POBRE, LA CONDICION OPTIMA PARA UN BUEN ENFRIAMIENTO, ES REDUCIR EL AISLAMIENTO SOLIDO A UN MINIMO, Y ASI EXPONER A LAS SUPERFICIES DEL DEVANADO A UN MAYOR CONTACTO CON EL AISLAMIENTO LIQUIDO REFRIGERANTE. EN EL DISEÑO MECANICO DEL AISLAMIENTO SE REQUIERE QUE LOS MATERIALES TENGAN UNA - GRAN RESISTENCIA MECANICA, LOS QUE POR LO GENERAL NO CUENTAN CON LAS MEJORES CONDICIONES DIELECTRICAS. POR LO TANTO, EL DISEÑO DEL AISLAMIENTO, QUE DE POR SI ES COMPLICADO, SE HACE MAS DIFICIL POR LA NECESIDAD PRACTICA DE SELECCIONAR Y COMBINAR LOS MATERIALES QUE RESUELVAN SATISFACTORIAMENTE LOS REQUERIMIENTOS TERMICOS, MECANICOS Y DIELECTRICOS.

DURANTE EL SERVICIO, LOS ESFUERZOS ELECTRICOS EN UN TRANSFORMADOR ESTAN -- CAUSADOS POR VOLTAJES DINAMICOS CONTINUOS, SOBREVOLTAJES DINAMICOS DE CORTA DURA -

CION Y VOLTAJES DE IMPULSO PRODUCIDOS POR LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS.

PARA CERTIFICAR UN BUEN DISEÑO DE LOS AISLAMIENTOS Y QUE UN TRANSFORMADOR - NUEVO ES CAPAZ DE SOPORTAR LOS ESFUERZOS ELECTRICOS ENUNCIADOS, DEBE SOMETERSE A UNA ESTRICTA COMPROBACION DE SUS NIVELES DE AISLAMIENTOS A TRAVES DE LAS PRUEBAS - NORMALIZADAS DE IMPULSO, DE VOLTAJE APLICADO Y DE POTENCIAL INDUCIDO LAS QUE POR SO METER AL TRANSFORMADOR A ESFUERZOS SEMEJANTES A LOS PRODUCIDOS EN SERVICIO SE CATALOGAN COMO PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

ANTES DE EFECTUAR ESTAS PRUEBAS, ES NECESARIO, POR MEDIO DE OTRAS PRUEBAS, ASEGURARSE QUE LA ESTRUCTURA DIELECTRICA DEL TRANSFORMADOR HA SIDO DISEÑADA O PRO CEBADA CORRECTAMENTE Y QUE SUS PROPIEDADES DIELECTRICAS SON OPTIMAS PREVIENIENDOSE ASI POSIBLES FALLAS Y LOCALIZANDOSE AL MISMO TIEMPO LA O LAS CAUSAS DE LOS DISTUR - BIOS. ESTAS PRUEBAS NO PRODUCEN ESFUERZOS ELECTRICOS QUE DAÑEN A LOS AISLAMIENTOS Y SON CONSIDERADAS COMO PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

ESTE TRABAJO COMPRENDE EL ESTUDIO GENERALIZADO DE LOS AISLAMIENTOS DE LOS TRANSFORMADORES SUJETOS A DICHAS PRUEBAS. LOS METODOS UTILIZADOS EN LA APLICACION DE LAS PRUEBAS SON LOS MAS USUALES Y ESTAN EXPLICADOS EN UNA FORMA MAS O MENOS AM PLIA; CONSIDERANDOSE QUE LO IMPORTANTE ES QUE CADA APLICACION APORTE CON FIDELIDAD LAS INFORMACIONES REQUERIDAS PARA UNA BUENA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS. POR ESTA RAZON, CADA UNO DE LOS CAPITULOS CUENTA CON UNA DESCRIPCION TEORICA DE LAS IN - VESTIGACIONES REALIZADAS EN LOS ULTIMOS AÑOS, EN LOS QUE SE DAN A CONOCER LOS FACTO RES QUE MAS DIRECTAMENTE INTERVIENEN PARA LA OBTENCION DE TRANSFORMADORES DE ALTA CALIDAD.

DEBIDO A QUE LAS PRUEBAS DE IMPULSO HAN MARCADO UN PASO PREPONDERANTE EN - LA INDUSTRIA ELECTRICA SE LES PRESTARA UNA ATENCION ESPECIAL ADICIONANDO UN CAPITULO QUE SE REFIERE A LA TEORIA DEL GENERADOR QUE PRODUCE LOS IMPULSOS Y AL DISPOSITIVO UTILIZADO ACTUALMENTE PARA EL REGISTRO Y MEDICION DE LOS PULSOS DE VOLTAJE APLI CADOS.

CAPITULO I

BASES PARA LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS DEL AISLAMIENTO

PROPIEDADES DE LOS AISLAMIENTOS.- LAS PROPIEDADES PRINCIPALES DE LOS AISLAMIENTOS PUEDEN ENUNCIARSE COMO SIGUE:

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1) CONSTANTE DIELECTRICA. | 2) RIGIDEZ DIELECTRICA. |
| 3) FACTOR DE POTENCIA. | 4) ABSORCION. |

LA SEGUNDA O SEA LA RIGIDEZ DIELECTRICA, ES LA PROPIEDAD MAS IMPORTANTE PARA TODA COMPANIA CONSTRUCTORA DE TRANSFORMADORES EN LAS CUALES EL FACTOR DE SEGURIDAD DETERMINADO POR LA RELACION DE LOS VOLTAJES DE RUPTURA DE LOS AISLAMIENTOS A LOS VOLTAJES NORMALES DE OPERACION DEBE SER MANTENIDO. NO OBTANTE QUE ESTE VOLTAJE DE RUPTURA NO PUEDE SER MEDIDO EN UN TRANSFORMADOR ACABADO PUES EN TODOS LOS CASOS, EXCEPTO EN LIQUIDOS EL AISLAMIENTO SE DESTRUIRIA, SE HAN ESTABLECIDO VALORES DE SOBREVOLTAJES INFERIORES A LOS NECESARIOS PARA PRODUCIR ALGUNA FALLA EN EL AISLAMIENTO, LOS CUALES OCASIONAN LA OBTENCION DE FACTORES DE SEGURIDAD MAS REDUCIDOS.

LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS A LOS AISLAMIENTOS, COMO CORRIENTEMENTE SE PRACTICAN, CONSISTEN EN LA MEDICION DE LAS CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL AISLAMIENTO -CAPACITANCIA, RESISTENCIA Y FACTOR DE POTENCIA- A UN VOLTAJE NO MAYOR QUE EL VOLTAJE DE OPERACION. DE ESTAS TRES CARACTERISTICAS EL FACTOR DE POTENCIA HA VENIDO A SER CONSIDERADO EL INDICADOR MAS VERAZ DE LA CONDICION DEL AISLAMIENTO. EL TERMINO FACTOR DE POTENCIA SE HA VENIDO USANDO DESDE HACE TIEMPO; SIN EMBARGO EL USO DEL FACTOR DE DISIPACION ES MEJOR PORQUE PUEDE SER DETERMINADO MAS RAPIDAMENTE Y POR -

LO TANTO MAS CONVENIENTE, EL FACTOR DE DISIPACION ES LA COTANGENTE DEL ANGULO ENTRE EL VOLTAJE Y LA CORRIENTE EN EL QUE EL FACTOR DE POTENCIA ES EL COSENO DEL ANGULO.

CIRCUITOS EQUIVALENTES.- LAS CARACTERISTICAS DEL AISLAMIENTO PUEDEN SER REPRESENTADAS EN SU FORMA MAS SIMPLE, PARA CUALQUIER FRECUENCIA DADA, POR UN CIRCUITO EQUIVALENTE CONSISTENTE DE UNA SIMPLE RESISTENCIA Y UNA SIMPLE CAPACITAN

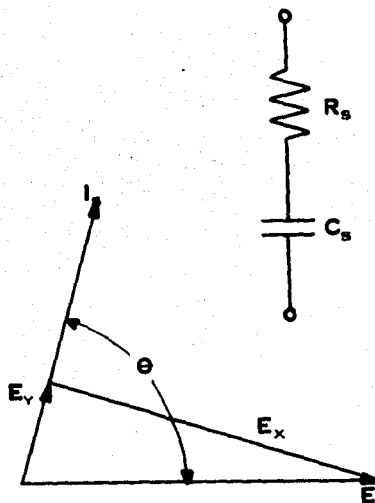


FIG. 1.1 CIRCUITO SERIE EQUIVALENTE DE LOS AISLAMIENTOS

$$\text{FACTOR DE DISIPACION} = \frac{2\pi f C_s R_s}{10^6} = D$$

si $f=60$ C.P.S. : C [μf] : R [$M\Omega$]

$$D = \frac{C_s R_s}{2650}$$

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \frac{D^2}{\sqrt{1+D^2}} = \cos \theta$$

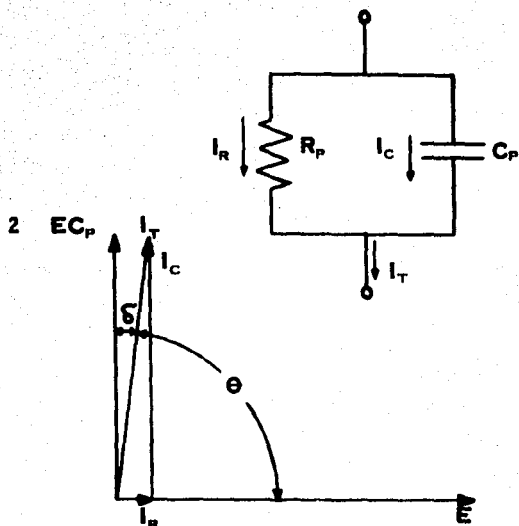


FIG. 2.1 CIRCUITO PARALELO EQUIVALENTE DEL AISLAMIENTO

$$\text{FACTOR DE DISIPACION} = \frac{10^6}{2\pi f C_p R_p}$$

si $f=60$ C.P.S. ; C [uf] ; R [MΩ]

$$D = \frac{2650}{C_p R_p} = \cot \theta = \tan \phi$$

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \frac{D^2}{\sqrt{1 + D^2}} = \cos \theta$$

CIA. ESTOS PUEDEN ESTAR EN SERIE O EN PARALELO COMO LO MUESTRAN LAS FIGS. 1.1 Y 2.1. SIN EMBARGO, PARA EL PRESENTE ANALISIS EL CIRCUITO EQUIVALENTE PARALELO TIENEN - CIERTAS VENTAJAS SOBRE EL CIRCUITO SERIE Y SERA, POR LO TANTO, ELUSADO A TRAVES DEL DESARROLLO.

DEBIDO A QUE LOS PUENTES DE CAPACITANCIAS USADOS PARA LAS PRUEBAS DE AISLA MIENTOS, DAN LECTURAS DE CAPACITANCIAS EN TERMINOS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE SERIE, ES NECESARIO CONVERTIR ESTAS LECTURAS A LAS COMPONENTES DE RESISTENCIA Y CAPACI-- TANCIA, CORRESPONDIENTES AL CIRCUITO PARALELO EQUIVALENTE. LA TABLA II MUESTRA - LAS OPERACIONES NECESARIAS PARA OBTENER LA RESISTENCIA Y LA CAPACITANCIA EQUIVALEN TES EN PARALELO, DE LAS LECTURAS DE VARIOS TIPOS DE INSTRUMENTOS COMERCIALES. DE BE SIN EMBARGO ESTABLECERSE, QUE PARA BAJOS VALORES DEL FACTOR DE DISIPACION, LA CA PACITANCIA EN PARALELO ES APROXIMADAMENTE IGUAL A LA CAPACITANCIA SERIE Y QUE A ME DIDA QUE EL FACTOR DE DISIPACION SE INCREMENTE LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS CAPACITAN CIAS CRECERA HACIENDOSE, SOLAMENTE EN ESTOS CASOS, NECESARIA LA CONVERSION PARA VA LORES GRANDES DEL FACTOR DE DISIPACION. LAS FIGS. 3.1A Y 3.1B MUESTRAN LA RELACION EXISTENTE ENTRE C_p , C_s , R_p Y R_s .

DISPOSICION FISICA DE LAS BOBINAS.- LOS DEVANADOS DE LOS TRANSFORMA DORES ESTAN AGRUPADOS EN VARIAS FORMAS DEPENDIENDO DE SU CAPACIDAD NOMINAL (KVA), Y LOS REQUERIMIENTOS DE IMPEDANCIA Y DE VOLTAJE YA SEA QUE LA CONSTRUCCION DEL - - TRANSFORMADOR SEA DEL TIPO ACORAZADO O DEL DE COLUMNAS.

LAS FIGS. 4.1 Y 5.1 MUESTRAN, LA DISPOSICION O AGRUPACION TIPICA DE LOS DEVA NADOS PARA TRANSFORMADORES DE DOS Y TRES BOBINAS, Y LOS CIRCUITOS EQUIVALENTES DE LA ESTRUCTURA DIELECTRICA EN DICHS TRANSFORMADORES COMO COMPUESTA DE LAS TRES - PARTES PRINCIPALES SIGUIENTES:

- 1.- AISLAMIENTO ENTRE LA BOBINA DE ALTA TENSION Y TIERRA, DESIGNADA CON EL - SUBINDICE A.
- 2.- AISLAMIENTO ENTRE LA BOBINA DE ALTA TENSION Y LA DE BAJA TENSION, DESIGNA DA CON EL SUBINDICE B.
- 3.- AISLAMIENTO ENTRE LA BOBINA DE BAJA TENSION Y TIERRA, DESIGNADA CON EL - SUBINDICE C.

DEBE HACERSE NOTAR QUE RESOLVIENDO LA ESTRUCTURA DEL AISLAMIENTO MEDIANTE ESTAS MUY SIMPLIFICADAS FORMAS NO SIEMPRE SE OBTIENE UN CUADRO COMPLETO, PERO ES TA DIVISION ES USADA PARA UNA MAYOR SIMPLICIDAD DE LOS CIRCUITOS.

SI LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION CUENTAN CON UN CIRCUITO DE GUARDA ACORAZADO PARA EVITAR INFLUENCIAS ELECTRICAS EXTRAÑAS, CADA UNA DE LAS PARTES DEL AISLAMIENTO

PUEDEN SER PROBADAS DIRECTAMENTE.

SI EL CIRCUITO DE GUARDA NO PUEDE UTILIZARSE, ENTONCES ES NECESARIO REALIZAR LAS SIGUIENTES TRES PRUEBAS:

PRUEBA A.- BOBINA DE ALTA TENSION CONTRA BOBINA DE BAJA TENSION Y TIERRA.

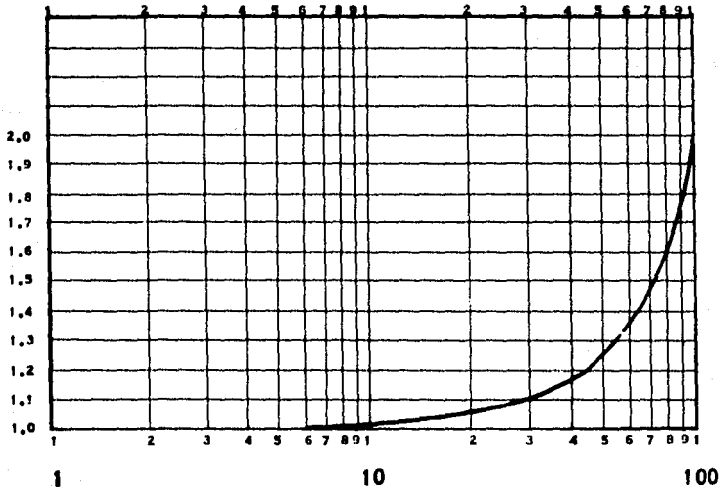


FIG. 3.1A DIAGRAMA DE LA RELACION DE LA CAPACITANCIA SERIE C_s A LA CAPACITANCIA PARALELO C_p COMO UNA FUNCION DEL FACTOR DE DISIPACION.

PRUEBA B.- BOBINA DE BAJA TENSION CONTRA BOBINA DE ALTA TENSION Y TIERRA.

PRUEBA C.- BOBINA DE ALTA TENSION Y BOBINA DE BAJA TENSION A TIERRA.

DE ESTAS PRUEBAS, LOS VALORES DE R Y C DE CADA PARTE DEL AISLAMIENTO PUEDE SER CALCULADA USANDO LAS RELACIONES MOSTRADAS EN LAS TABLAS I Y II.

LA TABLA I MUESTRA QUE LOS AGRUPAMIENTOS DE LAS BOBINAS AFECTAN MATERIAL-

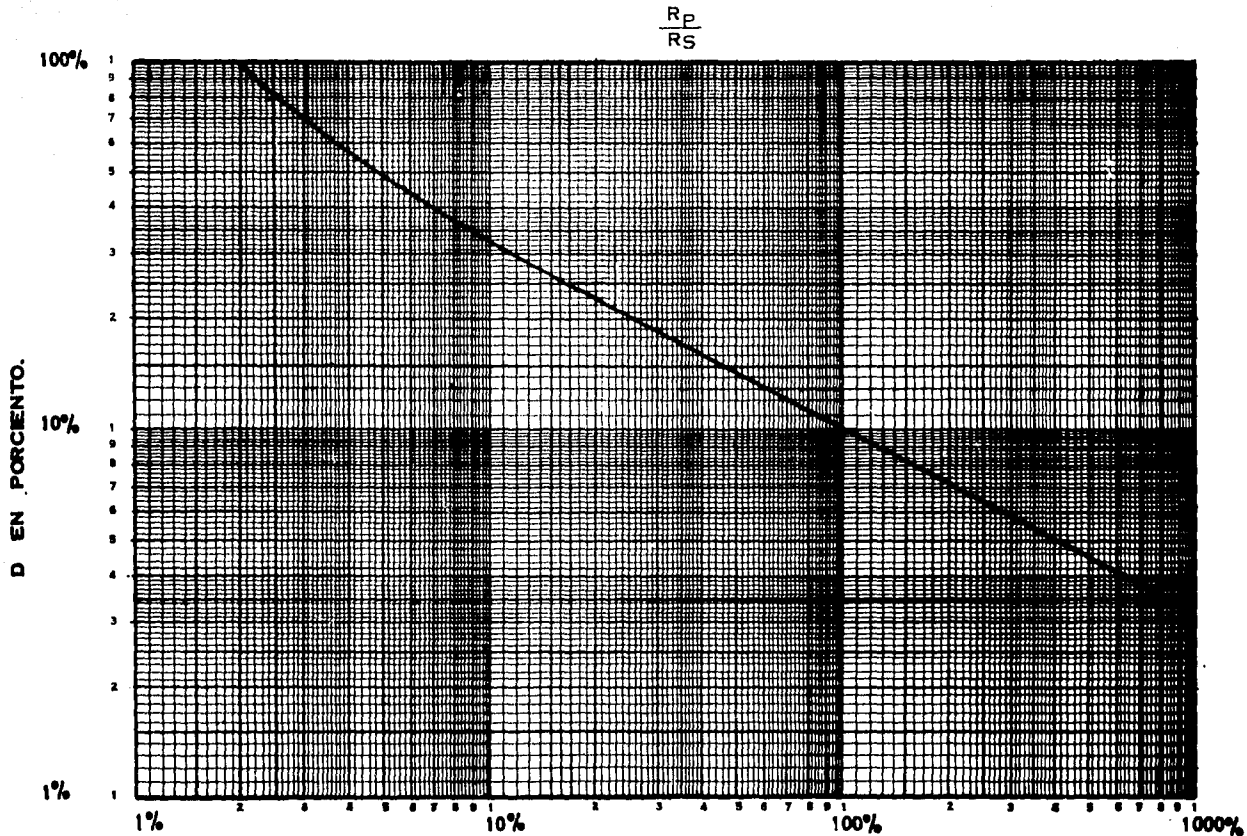


Fig. 3.1 ■ DIAGRAMA DE LA RELACION ENTRE LA RESISTENCIA EN PARALELO Y LA RESISTENCIA SERIE COMO UNA FUNCION DEL F.P.

MENTE LOS RESULTADOS Y POR LO TANTO DEBEN SER CONSIDERADOS EN EL ANALISIS. DEBE HACERSE NOTAR QUE LAS COMPONENTES DE LA CAPACITANCIA Y LA RESISTENCIA EN LA PRUEBA DE LA BOBINA DE ALTA TENSION A TIERRA DE LA FIG. 5,1 ES UNA MEDICION DE LAS SOQUILLAS DE ALTA TENSION, DE LAS TERMINALES, Y DE LA TABLILLA TERMINAL DE DERIVACIONES A -- TIERRA.

VALORES OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS A, B Y C.	Fig. 4.1.	Fig. 5.1.	PARTE DEL AISLAMIENTO.
$\frac{1}{2} (C_A + C_C + C_B)$ $\frac{1}{2} (1/R_A + 1/R_C + 1/R_B)$	$C_A + C'_A$	C'_A $1/R'_A$	ALTA TENSION A TIERRA
$\frac{1}{2} (C_A + C_B + C_C)$ $\frac{1}{2} (1/R_A + 1/R_B + 1/R_C)$	C_B	C_B $1/R_B$	ALTA TENSION A BAJA TENSION
$\frac{1}{2} (C_A + C_C + C_A)$ $\frac{1}{2} (1/R_A + 1/R_C + 1/R_A)$	$C_C + C'_C$	$C'_C + C'_C$ $1/R'_C + 1/R'_C$	BAJA TENSION A TIERRA

TABLA I.- COMPONENTES SEPARADAS DE CAPACITANCIA Y RESISTENCIA PARA LOS CIRCUITOS EQUIVALENTES DE LAS FIGS. 4,1 Y 5,1.

EQUIPOS DE MEDICION.- EL EQUIPO DE PRUEBA QUE SE UTILIZA PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA ES GENERALMENTE DE DOS TIPOS:

- 1.- INSTRUMENTOS QUE MIDAN EL VOLTAJE APLICADO, LAS CORRIENTES DE CARGA Y -- LAS PERDIDAS DIELECTRICAS.
- 2.- PUENTES DE CAPACITANCIAS QUE MIDAN LA CAPACITANCIA SERIE EQUIVALENTE Y EL FACTOR DE DISIPACION.

LA TABLA II MUESTRA LAS CONVERSIONES A CAPACITANCIAS PARALELO EQUIVALENTES, RESISTENCIAS EN PARALELO, Y FACTOR DE DISIPACION PARA CADA TIPO DE INSTRUMENTO.

METODO USADO	LECTURAS DE INSTRUMENTOS	R_p	C_p	D
1.- PUENTE DE CAPACITANCIAS	C_s y D [$\mu f, \%$]	$\frac{2650}{C_p \times D}$	$C_s \times \text{sen}^2 \theta$	DEL PUENTE
2.- PERDIDAS DIELECTRICAS	E, I y W [V,A,W.]	$\frac{E^2}{W}$	$\frac{2650}{R_p \times D}$	$\text{COT.} \cos^2 \frac{W}{E \times I}$

TABLA II.- CONVERSION DE LAS CONSTANTES AL CIRCUITO PARALELO EQUIVALENTE PARA PRUEBAS A 60 C.P.S.

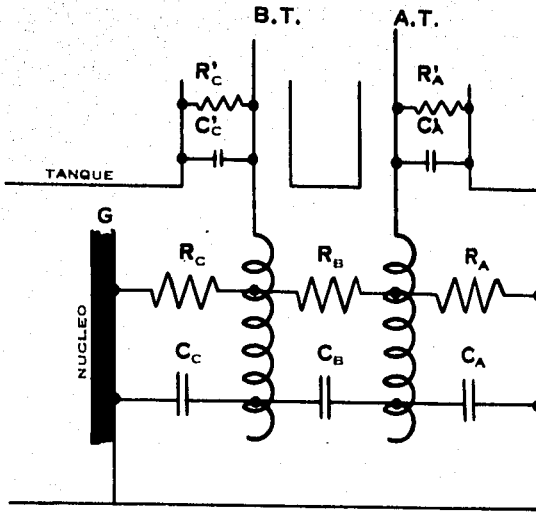


FIG. 4.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS TENIENDO UNA AGRUPACION NUCLEO - B.T. - A.T.

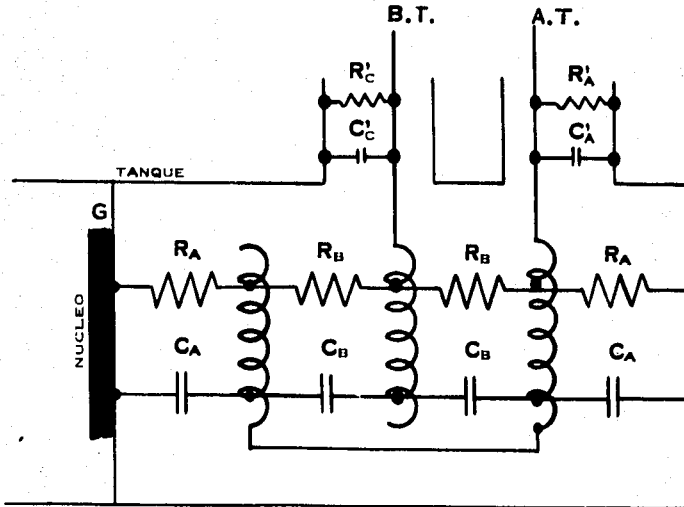


FIG. 5.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS TENIENDO UNA AGRUPACION NUCLEO - B.T. - A.T. - B.T.

PUENTE DE SCHERING.- EL METODO MAS RAPIDO, EFECTIVO Y ECONOMICO PARA LA DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DEL AISLAMIENTO ES POR MEDIO DEL USO DEL PUENTE DE CAPACITANCIAS, SIENDO ENTRE ESTOS EL MAS USADO, EL PUENTE DE SCHERING. LA FIG. 6.1 MUESTRA EL CIRCUITO SIMPLIFICADO DE DICHO PUENTE, QUE VIENE SIENDO UN PUENTE DEL TIPO RESISTENCIA-SERIE, DONDE LA CAPACITANCIA DESCONOCIDA ES MEDIDA POR RAMALES DE RESISTENCIA VARIABLE CONJUNTAMENTE CON UN CAPACITOR ESTANDARD C_N FIJO. EL FACTOR DE DISIPACION ES MEDIDO POR UNA RESISTENCIA VARIABLE R_N EN SERIE CON DICHO CAPACITCA.

EL PUENTE DE SCHERING CUENTA CON UN SISTEMA DE DETECCION QUE CONSISTE EN UN SIMPLE PASO DE AMPLIFICACION Y UN TUBO DE RAYOS ELECTRONICOS (OJO MAGICO) EL CUAL ES USADO COMO UN INDICADOR VISUAL. DICHO SISTEMA DE DETECCION ESTA DISEÑADO PARA SER MUY SENSITIVO CUANDO EL PUENTE ESTA BALANCEADO O MUY CERCA DEL BALANCE, PERO ES RELATIVAMENTE INSENSITIVO CUANDO EL PUENTE ESTA FUERA DE ESTE.

EL PUENTE CUENTA ADEMAS CON CIRCUITOS DE COMPENSACION QUE SIRVEN PARA CONSERVAR LA RELACION CAPACITIVA DE LOS RAMALES O PARA ELIMINAR LA CAPACITANCIA "CERO". EN EL PRIMER CASO, PUEDE DECIRSE QUE DEBIDO A QUE CUALQUIER PERDIDA EN EL CAPACITOR ESTANDARD CAUSA QUE EL PUENTE LEA UN FACTOR DE DISIPACION BAJO, A UN AUMENTO IGUAL DEL FACTOR DE DISIPACION DEL MISMO CAPACITOR. LA COMPENSACION SE EFECTUA CONECTANDO CAPACITORES FIJOS A TRAVES DE LAS RESISTENCIAS DEL RAMAL OPUESTO DE TAL MANERA QUE SE CUMPLA QUE EL PRODUCTO $R_B \omega C_B$ SE APROXIME A D_0 , O FACTOR DE DISIPACION DEL CAPACITOR ESTANDARD.

LA COMPENSACION DE LA CAPACITANCIA "CERO" ES UN CIRCUITO AJENO AL PUENTE (FIG. 7.1) ES USADO CON EFICACIA PARA ELIMINAR DICHA CAPACITANCIA Y LAS PERDIDAS A TRAVES DE LAS TERMINALES CONECTADAS AL TRANSFORMADOR EN PRUEBA. ESTE CIRCUITO HACE POSIBLE LA LECTURA DIRECTA DE LA CAPACITANCIA Y DEL FACTOR DE DISIPACION.

COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 7.1, UN VOLTAJE DE MAGNITUD AJUSTABLE ES ALIMENTADO A LA SALIDA DEL PUENTE. ESTE VOLTAJE ES AJUSTADO PARA CANCELAR EL DESBALANCE DE VOLTAJES PRODUCIDO POR LA CAPACITANCIA CERO Y LA RESISTENCIA. AL MISMO TIEMPO SIRVE PARA COMPENSAR PARCIALMENTE CUALQUIER DISIPACION A TRAVES DEL TRANSFORMADOR DEL PUENTE, Y CUALQUIER PEQUEÑO VOLTAJE RECOGIDO POR EL AMPLIFICADOR A TRAVES DEL ACOPLAMIENTO CAPACITIVO A LAS TERMINALES DE ALTO VOLTAJE.

ECUACIONES DE BALANCE.- LAS CONDICIONES DE BALANCE DEL PUENTE DE SCHERING PARA UNA LECTURA DIRECTA DE LA CAPACITANCIA, RESISTENCIA Y FACTOR DE DISIPACION ESTAN DADAS POR:

$$C_{XS} = C_N \frac{R_A}{R_B} \text{ [uf]}$$

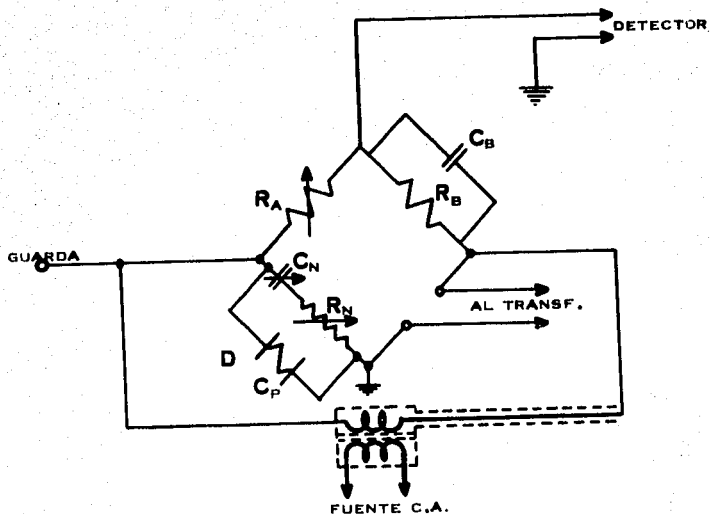


FIG. 6.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO SIMPLIFICADO DEL PUENTE DE SCHERING.

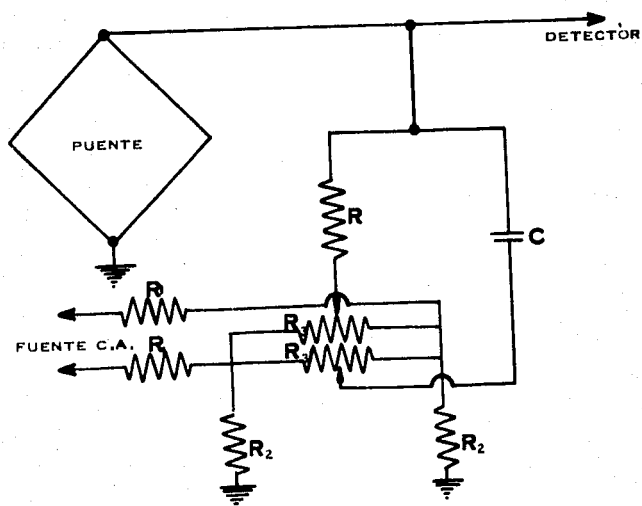


FIG. 7.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL CIRCUITO DE COMPENSACION DE CAPACITANCIA - CERO.

$$D_x = 2\pi R_x C_x = 2\pi R_N C_N = D_N \text{ [\%]}$$

EN DONDE C_{XS} Y D_x SON: LA CAPACITANCIA SERIE Y EL FACTOR DE DISIPACION DEL TRANSFORMADOR EN PRUEBA, COMO YA SE MENCIONO, DEBIDO A QUE VALORES MENORES DEL 10 POR CIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA LA RELACION ENTRE C_p Y C_s PUEDEN CONSIDERARSE IGUALA 1 PUEDE TOMARSE INVARIABEMENTE EL VALOR DE LA CAPACITANCIA SERIE COMO IGUAL A LA PARALELO. C_N Y D_N SON LA CAPACITANCIA SERIE O PARALELO Y EL FACTOR DE DISIPACION DEL RAMAL ESTANDARD. LA RESISTENCIA EN SERIE CON C_{XS} ESTA DADA POR LA EXPRESION - - - $R_{XS} = \frac{D_x}{C_{XS}} [\Omega(C, f)]$; EN QUE $\omega = 2\pi f$. TODAS ESTAS LECTURAS DIRECTAS DAN VALORES MUY ELEVADOS POR LO QUE ES NECESARIO UTILIZAR EL METODO VISTO ANTERIORMENTE, - CON EL FIN DE SEPARAR LOS TRES AISLAMIENTOS; PRIMARIO AL TANQUE, SECUNDARIO AL TANQUE Y PRIMARIO A SECUNDARIO.

CONSIDERANDO QUE LAS FIGS. 4.1 Y 5.1 ANTES MENCIONADAS REPRESENTAN EL DIAGRAMA DE UN TRANSFORMADOR COMPLETAMENTE ACABADO, EL CIRCUITO CAPACITIVO EQUIVALENTE PUEDE SER SIMPLIFICADO HASTA CONSTITUIR UNA MALLA CAPACITIVA TENIENDO UN PUNTO - - CONECTADO A TIERRA. UNO DE LOS RAMALES ESTARA FORMADO POR LA CAPACITANCIA ENTRE LOS DEVANADOS Y LOS OTROS DOS POR LAS CAPACITANCIAS ENTRE CADA DEVANADO Y EL NUCLEO Y TANQUE. DICHA MALLA FORMA UNA RED DE TRES TERMINALES DE TAL MODO QUE EL TRANSFORMADOR COMPLETO PUEDE SER REPRESENTADO POR EL CIRCUITO DE LA FIG. 8.1.

PARA DETERMINAR ADECUADAMENTE LAS TRES CAPACITANCIAS DE LA RED Y SUS FACTORES DE DISIPACION ASOCIADOS A CADA UNA DE ELLAS, ES NECESARIO HACER LAS MEDICIONES A, B Y C SIGUIENTES:

- (A) C_{12} Y C_{23} EN PARALELO; SE ATERRIZA EL PUNTO 1 Y SE EFECTUA LA MEDICION DESDE EL PUNTO 2 A TIERRA.
- (B) C_{12} Y C_{13} EN PARALELO; SE ATERRIZA EL PUNTO 2 Y SE EFECTUA LA MEDICION DESDE EL PUNTO 1 A TIERRA.
- (C) C_{13} Y C_{23} EN PARALELO; SE CONECTAN MUTUAMENTE LOS PUNTOS 1 Y 2.

PARA LA MEDICION (A) SE TIENE:

$$C_A = C_{12} + C_{23}$$

$$D_A = \frac{D_{12}C_{12} + D_{23}C_{23}}{C_{12} + C_{23}}$$

PARA LA MEDICION (B)

$$C_B = C_{12} + C_{13}$$

$$D_B = \frac{D_{12}C_{12} + D_{13}C_{13}}{C_{12} + C_{13}}$$

PARA LA MEDICION (C)

$$C_C = C_{13} + C_{23}$$

$$D_C = \frac{D_{13}C_{13} + D_{23}C_{23}}{C_{13} + C_{23}}$$

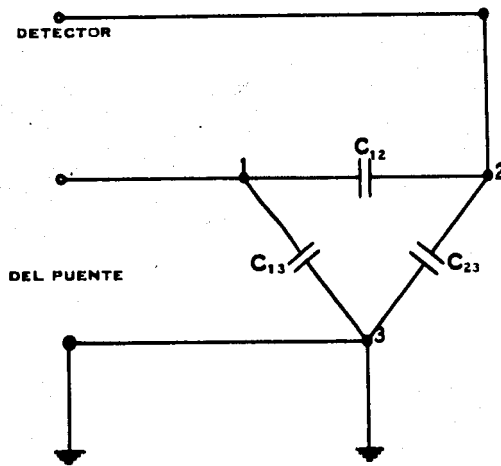


FIG. 8.1 RED DE CAPACITANCIA EQUIVALENTE DE UN TRANSFORMADOR.

PARA RESOLVER LAS ECUACIONES ANTERIORES EN FORMA SIMULTANEA LAS EXPRESIONES SIGUIENTES SON UTILES.

$$C = 1/2(C_A + C_B + C_C)$$

$$D_C = 1/2(D_A C_A + D_B C_B + D_C C_C)$$

EN TERMINOS DE ESTAS EXPRESIONES, LAS TRES CAPACITANCIAS DESCONOCIDAS Y LOS FACTORES DE DISIPACION PUEDEN SER ESCRITOS, EN FORMA CONVENIENTE PARA EL CALCULO, -

COMO SIGUE:

$$C_{13} = C - C_A$$

$$C_{23} = C - C_B$$

$$C_{12} = C - C_C$$

$$D_{13} = \frac{D_C - D_A C_A}{C_{13}}$$

$$D_{23} = \frac{D_C - D_B C_B}{C_{23}}$$

$$D_{12} = \frac{D_C - D_C C_C}{C_{12}}$$

USANDO ESTAS EXPRESIONES, SE PUEDE HACER UNA TABULACION CONVENIENTE PARA EFECTUAR EL CALCULO. UN EJEMPLO DE ESTA SE MUESTRA EN LA TABLA III.

TABLA III.			
	D	C	DC
C_A	3.0	600	1800
C_B	4.0	500	2000
C_C	3.5	700	2450
SUMA	—	1800	6250
1/2 SUMA	—	900	3125
C_{13}	4.41	300	1325
C_{23}	2.81	400	1125
C_{12}	3.38	200	675

CON LO ANTERIOR PUEDE DECIRSE QUE TERMINA LA PRUEBA DE LA CAPACITANCIA Y DEL

FACTOR DE DISIPACION POR EL METODO DEL PUENTE DE SCHERING, Y POR LO TANTO PUEDE DE TERMINARSE EL FACTOR DE POTENCIA PARTIENDO DE LA ECUACION YA ENUNCIADA,

$$F.P. = \frac{D}{\sqrt{1 + D^2}}$$

METODO DE PERDIDAS PARA LA DETERMINACION DE LAS PERDIDAS - DIELECTRICAS DE C.A. Y DEL FACTOR DE DISIPACION.- EL METODO DESCRITO A CONTINUACION ES UN METODO GENERALIZADO PARA LA DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DIELECTRICAS DE C.A. Y DEL FACTOR DE DISIPACION DE CUALQUIER TIPO DE CAPACITOR PERO -- HABIENDO VISTO QUE LA ESTRUCTURA DIELECTRICA DE UN TRANSFORMADOR PUEDE SER REPRESENTADA POR UN CAPACITOR EQUIVALENTE SE PUEDE HACER SIN MENOSCABO ALGUNO EL ANALISIS DE LA MISMA PRUEBA APLICADA A DICHA ESTRUCTURA.

ESTE TIPO DE PRUEBA ES RELATIVAMENTE POCO USADA POR LOS FABRICANTES DE -- TRANSFORMADORES Y SOLAMENTE SE HACE CON FINES DE INVESTIGACION, PERO FUERA DE LA -- INDUSTRIA MANUFACTURERA, ES DECIR, EN SERVICIO DEL APARATO SU USO ES MUY FRECUENTE YA QUE PROVEE UN METODO DE PRUEBA ADECUADO Y NO-DESTRUCTIVO PARA UN MANTENIMIENTO ECONOMICO DEL AISLAMIENTO DETECTANDO SU DETERIORO CON EL TIEMPO Y ASI PUEDEN PREVENIRSE FUTURAS FALLAS.

ELEMENTOS PRINCIPALES DE PRUEBA.- EL APARATO DE PRUEBA REQUERIDO POR ESTE METODO SE MUESTRA EN LA FIG. 9.1.

UNA FUENTE DE 110 VOLTS, ALIMENTA AL TRANSFORMADOR T.- DE LA TERMINAL DE ALTA TENSION DE LA BOBINA RESPECTIVA, PARTE UN CABLE CUYA TERMINAL SE CONECTA A UNA DE LAS TERMINALES DEL TRANSFORMADOR, CUYA ESTRUCTURA DIELECTRICA, REPRESENTADA -- POR C_{XS} , R_{XS} , ESTA CONECTADA A TIERRA.

LOS DISPOSITIVOS DE MEDICION, M(AMPERMETRO Y WATTMETRO), ESTAN CONECTADOS ENTRE UN LADO DEL DEVANADO DE ALTA TENSION DEL TRANSFORMADOR, T, Y LA TIERRA DEL -- TRANSFORMADOR EN PRUEBA, T_p .

PROBLEMAS TECNICOS.- EXISTEN PROBLEMAS TECNICOS MUY ESPECIALES INVOUCRADOS CON LOS APARATOS DISEÑADOS PARA MEDIR LAS PERDIDAS EN EL AISLAMIENTO DE -- LOS APARATOS EN SERVICIO CON UNO DE SUS PUNTOS ATERRIZADOS PERMANENTEMENTE Y QUE A LA VEZ SE ENCUENTRAN INFLUENCIADOS A INDUCCIONES ELECTROSTATICAS DE CIRCUITOS O APARATOS CERCANOS. DEBIDO A QUE POSIBLEMENTE, LAS CONEXIONES A TIERRA NO PUEDEN -- SER ELIMINADAS NI SIQUIERA TEMPORALMENTE, LOS DISPOSITIVOS DE MEDICION NO PUEDEN --

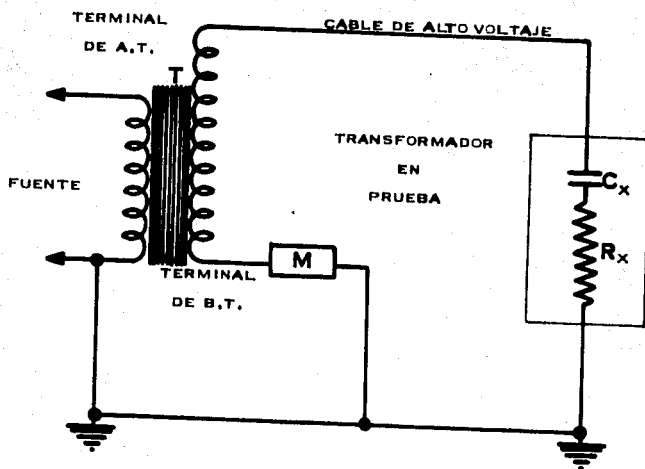


FIG. 9.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL APARATO QUE MIDE LAS PERDIDAS DIELECTRICAS DE C.A. EN UN TRANSFORMADOR.

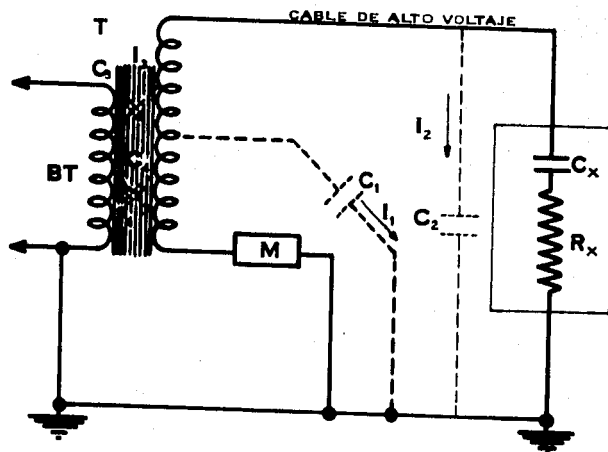


FIG. 10.1 DIAGRAMA DEL CIRCUITO SIMPLIFICADO MOSTRANDO LAS CORRIENTES DE CARGA ORIGINADAS EN EL APARATO EN PRUEBA.

SER CONECTADOS ENTRE EL TRANSFORMADOR EN PRUEBA Y TIERRA; Y TAMPOCO PUEDEN SER CONECTADOS DIRECTAMENTE EN SERIE CON EL AISLAMIENTO BAJO PRUEBA. CONSEQUENTEMENTE, LA LIMITACION PERMANENTE DE LA CONEXION A TIERRA PUEDE OCASIONAR QUE LOS APARATOS DE MEDICION SE VEAN SUJETOS A INFLUENCIAS ELECTRICAS MUY AJENAS A AQUELLAS PRODUCIDAS POR LAS PERDIDAS DEL AISLAMIENTO. ALGUNAS DE ELLAS PUEDEN SER, POR - - EJEMPLO:

- 1.- CORRIENTES DE CARGA ORIGINADAS EN EL MISMO APARATO DE MEDICION.
- 2.- CAMBIOS EN EL ANGULO DE FASE Y LA CORRIENTE, CAUSADAS POR VARIACIONES EN LA CAPACITANCIA.
- 3.- EFECTOS CAUSADOS POR CAMPOS ELECTRICOS EXTRAÑOS.

CORRIENTES DE CARGA ORIGINADAS EN EL MISMO APARATO DE MEDICION.- EN LA FIG. 10.1, LAS CORRIENTES DE CARGA ORIGINADAS EN EL APARATO DE PRUEBA, ESTAN INDICADAS EN UN DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL EQUIPO QUE SE ENCUENTRA SIN BARRAS DE GUARDA O CORAZAS. LA CAPACITANCIA DISTRIBUIDA ENTRE LA BOBINA DE ALTA TENSION DEL TRANSFORMADOR Y TIERRA ESTA REPRESENTADO POR UN SIMPLE CAPACITOR, C_1 , Y LA CORRIENTE DE CARGA RESULTANTE ESTA REPRESENTADA POR I_1 . LA CAPACITANCIA DISTRIBUIDA QUE COMPRENDE LA LONGITUD TOTAL DEL CABLE DE ALTA-TENSION SE MUESTRA CONVENCIONALMENTE COMO C_2 , Y SU CORRIENTE DE CARGA COMO I_2 . LA CAPACITANCIA DISTRIBUIDA Y LA CORRIENTE DE LA TERMINAL DE ALTA-TENSION ESTAN SEÑALADAS COMO C_3 E I_3 . ASI MISMO LA CAPACITANCIA DISTRIBUIDA Y LA CORRIENTE ENTRE LA BOBINA DE 110 VOLTS Y LA TERMINAL DE BAJO VOLTAJE DE LA BOBINA ESTAN INDICADAS COMO C_4 E I_4 . TODAS ESTAS CORRIENTES DE CARGA I_1 , I_2 , I_3 E I_4 , FLUYEN A TRAVES DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICION, M , - ADEMAS DE LA CORRIENTE QUE CIRCULA A TRAVES DEL APARATO EN PRUEBA QUE AL CASO ES LA QUE REALMENTE DESEA MEDIRSE. POR LO TANTO DICHAS CORRIENTES DEBEN ELIMINARSE EN ALGUNA FORMA.

EN LA FIG. 11.1 SE HA AÑADIDO AL CIRCUITO CELDILLAS DE GUARDA, ES DECIR, SE HA HECHO UN RESGUARDAMIENTO DEL DEVANADO DE ALTA TENSION Y DEL CABLE DE LA MISMA POR MEDIO DE UNA CORAZA QUE LOS ENVUELVE. ESTAS SON S_2 Y S_3 . LAS CORRIENTES I_1 , I_2 E I_3 YA NO CIRCULAN POR M POR LA ACCION DE LA CORAZA, PERO I_4 SI CONTINUA FLUYENDO A TRAVES DE ELLA.

EN LA FIG. 12.1 SE HA AÑADIDO AL CIRCUITO DE LA FIG. 11.1 UNA CORAZA, S_1 , AL DEVANADO DE BAJA TENSION DEL TRANSFORMADOR DE PRUEBA Y HA SIDO CONECTADA A TIERRA. - ESTA CORAZA, APARTA LA CORRIENTE DE CARGA I_4 DE M . ESTO ES DE SUMA IMPORTANCIA - POR QUE EL DESPLAZAMIENTO DE FASE DE I_4 PUEDE SER TAL QUE CAUSE ERRORES PRONUNCIADOS EN LA MEDICION DE LOS WATTS.

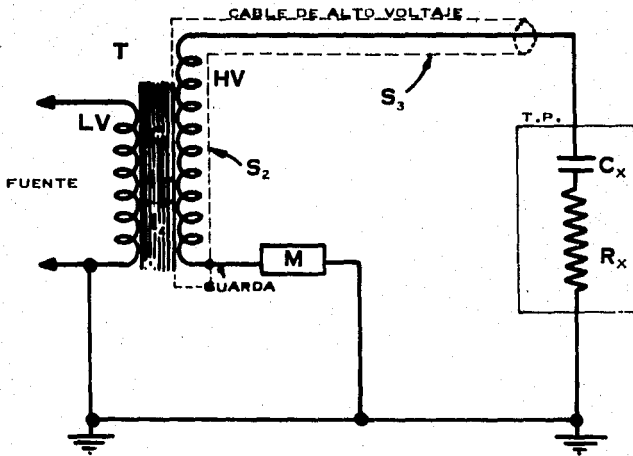


FIG. 11.1 DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE PRUEBA EN LAS CORAZAS QUE APARTAN I_1 , I_2 E I_3 DE M.

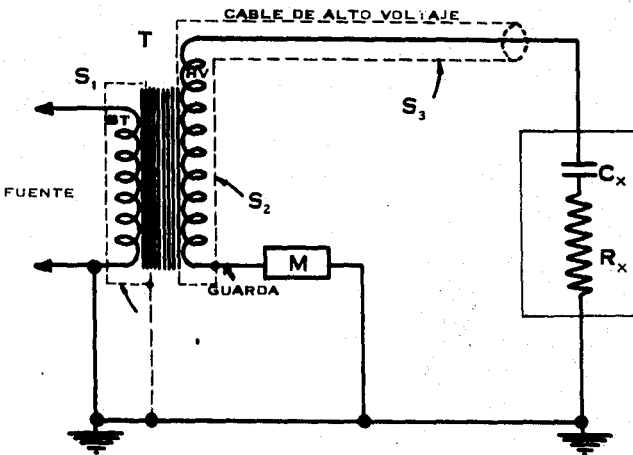


FIG. 12.1 DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE PRUEBA EN LAS CORAZAS QUE APARTAN I_1 , I_2 , I_3 E I_4 DE M.

CAMBIOS DEL ANGULO DE FASE Y DE LA CORRIENTE CAUSADA POR LAS VARIACIONES EN LA CAPACITANCIA Y EFECTOS CAUSADOS POR CAMPOS ELECTRICOS EXTRAÑOS.— UN ESTUDIO DE LAS FIGS. 11,1 Y 12,1 MOSTRARA QUE ES OBVIO QUE LA CAPACITANCIA ENTRE TIERRA Y LAS CORAZAS S_2 Y S_3 ESTAN EN PARALELO CON LOS DISPOSITIVOS M. ESTA CAPACITANCIA EN DERIVACION APARTA ALGO DE LA CORRIENTE A TRAVES DEL TRANSFORMADOR EN PRUEBA, DE M. LA CORRECCION PARA ESTE EFECTO PUEDE SER HECHA POR MEDIO DE ALGUNA MALLA O CIRCUITOS DE COMPENSACION COMO LOS ENUNCIADOS EN EL METODO DEL PUENTE DE SCHERING. SI ESTA CAPACITANCIA EN DERIVACION ES CONSERVADA SUBSTANCIALMENTE CONSTANTE, LA NECESIDAD DE AJUSTAR LOS CIRCUITOS DE COMPENSACION ES PRACTICAMENTE ELIMINADA.

EN LA FIG. 13,1 SE MUESTRA EL METODO PARA MANTENER LA CAPACITANCIA CONSTANTE Y A LA CUAL SE LE HA AÑADIDO UN CUARTO Y QUINTO ACORAZAMIENTO CON S_4 Y S_5 . LOS CUALES ENVUELVEN LAS CORAZAS S_2 Y S_3 EN EL CABLE DE ALTA TENSION Y EL APARATO. LOS DISPOSITIVOS DE COMPENSACION ANTES MENCIONADOS, ESTAN PROVISTOS POR UNA MALLA RESISTIVA-CAPACITIVA AJUSTABLE.

UNA FUNCION ADICIONAL DE LAS CORAZAS S_4 Y S_5 ES EL PREVENIR CORRIENTES INDUCIDAS POR FUENTES EXTRAÑAS Y QUE PUEDAN CIRCULAR POR M. TOMANDO COMO REFERENCIA LAS FIGS. 11,1 Y 12,1, PUEDE APRECIARSE QUE LAS CORRIENTES INDUCIDAS, EN S_2 Y S_3 , POR CAMPOS ELECTRICOS EXTRAÑOS, PODRIAN FLUIR A TIERRA A TRAVES DE M, ALTERANDOSE DE ESTA MANERA LAS MEDICIONES. LAS NUEVAS CORAZAS S_4 Y S_5 CONDUCE DICHAS CORRIENTES DIRECTAMENTE A TIERRA. ESTAS GUARDAS ATERRIZADAS, CONTRIBUYEN ADEMAS EN FORMA NOTORIA PARA LA SEGURIDAD DEL PERSONAL QUE OPERA EL APARATO DE PRUEBA, PUES SUMINISTRA UNA TRAYECTORIA DIRECTA A TIERRA A LAS CORRIENTES DISPERSAS DEBIDAS A FALLAS ACCIDENTALES DEL CIRCUITO DE PRUEBA O POR CONTACTOS CON FUENTES DE ALTO VOLTAJE EXTERNAS. EN LA ACTUALIDAD, MUCHAS VIDAS DE PROBADORES HAN SIDO SALVADAS POR ESTAS CORAZAS CUANDO UN MECANISMO DE OPERACION DEFECTUOSA CAUSA QUE LA BOQUILLA DEL TRANSFORMADOR EN PRUEBA SE DESCARGUE A TIERRA A VOLTAJES DE LINEA.

ADEMAS, CON EL APARATO Y CABLE DE PRUEBA PROTEGIDOS DE OTROS CAMPOS EXTRAÑOS, LAS BOQUILLAS PUEDEN SER COLOCADAS DE TAL MODO QUE TENGAN VOLTAJES INDUCIDOS CONSIDERABLES EN SU TERMINAL DE ALTA TENSION DEBIDOS A FUENTES EXTRAÑAS. LOS VOLTAJES ASI INDUCIDOS EN EL TRANSFORMADOR EN PRUEBA PUEDEN A SU VEZ PRODUCIR CORRIENTES A TIERRA LAS CUALES PUEDEN FLUIR A TRAVES DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION, Y ES ESENCIAL EL TENER DISPOSITIVOS EN EL MISMO EQUIPO PARA HACER LAS CORRECCIONES A ESTOS EFECTOS. UN INTERRUPTOR REVERSIBLE, I. D. T, FIG. 13,1, SE OCUPA DE ESTA FUNCION.

EN LA PRACTICA, SI EL VOLTAJE DE PRUEBA ESTA A MENOS DE 90° FUERA DE FASE -- CON LA CORRIENTE INDUCIDA EN EL APARATO EN PRUEBA POR CAMPOS EXTRAÑOS, LA CORRIENTE RESULTANTE Y LOS WATTS DETERMINADOS POR LOS INSTRUMENTOS PUEDEN SER DE ELEVADO VALOR. SIN EMBARGO, SI EL DEFASAJE DE LA CORRIENTE INDUCIDA CON EL POTENCIAL DE PRUEBA, ES MAYOR DE 90° , LOS WATTS Y LA CORRIENTE INDICADA POR LOS INSTRUMENTOS PUE

DEN SER MUY BAJOS. EL VALOR ACTUAL DE LOS WATTS DE PERDIDAS EN EL AISLAMIENTO EN PRUEBA PUEDE DETERMINADO TOMANDO DOS LECTURAS, LA PRIMERA CON EL INTERRUPTOR - I.D. T. EN UNA POSICION Y LUEGO EN LA OTRA. EL PROMEDIO ALGEBRAICO DE ESTAS DOS LECTURAS DA LAS PERDIDAS DIELECTRICAS DEL AISLAMIENTO, Y EL PROMEDIO ALGEBRAICO DE LA CORRIENTE ES SUSTANCIALMENTE LA CORRIENTE DE PRUEBA. DE ESTA MANERA EL FACTOR DE POTENCIA PUEDE SER CALCULADO A PARTIR DE LOS VALORES DE CORRIENTES Y DE WATTS DE PERDIDA.

POR EJEMPLO, SI W_1 Y W_2 SON LAS LECTURAS OBSERVADAS EN EL WATTMETRO, E I_1 A I_2 LAS DE LA CORRIENTE, A DISTINTA POSICION DEL INTERRUPTOR REVERSIBLE, I.D. T., EL PROMEDIO ALGEBRAICO DE LOS WATTS DE PERDIDAS SERA $(W_1 + W_2) / 2$, Y EL DE LAS CORRIENTES $(I_1 + I_2) / 2$. EL FACTOR DE POTENCIA QUE SE OBTENDRA SERA:

$$F.P. = \frac{W_1 + W_2}{E (I_1 + I_2)}$$

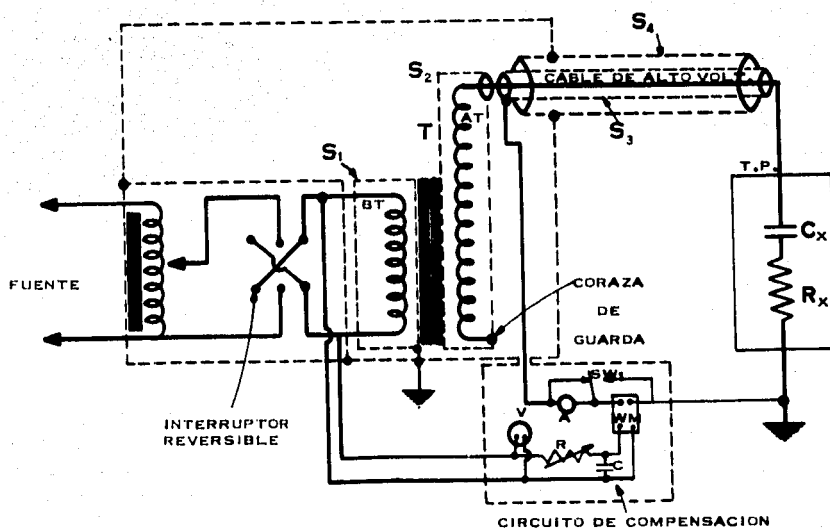


FIG. 13.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL PROBADOR DE PERDIDAS DIELECTRICAS Y FACTOR DE POTENCIA.

EL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO DERIVADO DE ESTA MANERA DE LAS LECTURAS OBTENIDAS EN LA PRUEBA DE LOS WATTS DE PERDIDAS Y LOS VOLTAMPERES PUEDE SER ILUSTRADO, HACIENDOLE UNA COMPARACION CON EL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA QUE SE OBTENDRIA EN LA PRUEBA DE UN MISMO TRANSFORMADOR LIBRE DE TODA INFLUENCIA ELECTRICAMENTE QUE PROVOQUE INTERFERENCIAS.

VALORES OBSERVADOS EN UNA PRUEBA CON INDUCCIONES EXTRAÑAS.

$$E = 10,000 \text{ VOLTS}$$

$$W_1 = 1.9 \text{ WATTS}$$

$$W_2 = 1.6 \text{ WATTS}$$

$$I_1 = 895 \text{ MICROAMPERES}$$

$$I_2 = 685 \text{ MICROAMPERES}$$

APLICANDO LA FORMULA:

$$F.P. = \frac{W_1 + W_2}{E(I_1 + I_2)} = \frac{1.9 + (-1.6)}{10^4 (895 + 685) \times 10^{-6}} = \text{FACTOR DE POT.} = 1.9\%$$

FACTOR DE POTENCIA REAL DEL MISMO TRANSFORMADOR EN PRUEBA EN EL QUE NO HAY INDUCCIONES EXTRAÑAS = 2%.

DEBE MENCIONARSE, QUE NO ES POSIBLE CALCULAR EL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA, SACANDO PROMEDIOS DE LOS FACTORES DE POTENCIA OBTENIDOS EN CONDICIONES DE INTERFERENCIA ELECTROSTATICA. LA EXPRESION ALGEBRAICA PARA EL PROMEDIO DE FACTOR DE POTENCIA PODRIA SER:

$$F.P. = 1/2 \cdot \frac{W_1}{E I_1} + \frac{W_2}{E I_2}$$

LO QUE ES IGUAL A:

$$F.P. = 1/2 \cdot \frac{W_1 I_2 + W_2 I_1}{E I_1 I_2}$$

APLICANDO ESTA FORMULA PARA EL EJEMPLO CITADO ANTERIORMENTE SE OBTIENE UN VALOR DE -1.1% PARA EL F.P. LO QUE ES UN RESULTADO ABSURDO PUES NO TIENE SIGNIFICADO.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.- LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA HAN ESTABLECIDO DEFINITIVAMENTE QUE LOS AISLAMIENTOS DE BAJO CONTENIDO DE HUMEDAD MUESTRAN UNA REDUCCION EN SU RESISTENCIA A UN INCREMENTO DE LA TEMPERATURA, PERMANECIENDO PRACTICAMENTE CONSTANTE LA PARTE CAPACITIVA DEL CIRCUITO. POR OTRO LADO, PARA AISLAMIENTOS HUMEDOS, ES UN HECHO COMPROBADO QUE A UN INCREMENTO DE LA TEMPERATURA SE PRODUCE UN CONSIDERABLE AUMENTO EN LA CAPACITANCIA ASI COMO UNA REDUCCION DE LA RESISTENCIA DE C. A. ELEVANDOSE POR LO TANTO EL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA. A PESAR DE ESTO NO PUEDE ASEGURARSE QUE EL VALOR DEL F.P. SE ALTERE SOLO POR LA HUMEDAD PUES MUCHOS OTROS FACTORES PUEDEN INTERVENIR PARA QUE DICHA ALTERACION SE PRESENTE.

LOS QUIMICOS Y FISICOS HAN AYUDADO A TRAVES DE SUS INVESTIGACIONES DEL COMPORTAMIENTO MOLECULAR DE LOS DIELECTRICOS, A AMPLIAR IDEAS ACERCA DE LA RELACION QUE GUARDA LA HUMEDAD CON EL FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS (FIG. 14.1) UNO DE SUS PUNTOS DE VISTA DICE QUE "LA HUMEDAD CAUSA QUE LAS IMPUREZAS DEL MINERAL SE IONIZEN O SE DESCOMPONGAN EN DOS PARTICULAS, CARGADAS OPUESTAMENTE, QUE PUEDEN MOVERSE MAS O MENOS CON LIBERTAD A TRAVES DEL AISLAMIENTO CUANDO EL VOLTAJE DE PRUEBA ES APLICADO, PERDIENDO ENERGIA EN EL CHOQUE CON OTRAS MOLECULAS CAUSANDO DE ESTA MANERA LAS PERDIDAS DIELECTRICAS Y PRODUCIENDO CONSECUENTEMENTE LA VARIACION DEL FACTOR DE POTENCIA".

DE LO ANTERIOR SE DEDUCE QUE A MEDIDA QUE LA HUMEDAD ES ABSORBIDA, EL PRIMER CAMBIO QUE PRESENTA ES LA REDUCCION DE LA RESISTENCIA DEL DIELECTRICO.

OTRO DE LOS RAZONAMIENTOS DE LOS INVESTIGADORES DICE QUE "EXISTEN MOLECULAS POLARIZADAS QUE PUEDEN GIRAR EN UN MEDIO VISCOSO EN RESPUESTA AL CAMPO ELECTRICO, CAUSANDO LOS WATTS DE PERDIDAS". CON ESTO, PUEDE HACERSE LA SIGUIENTE CONCLUSION. LAS PERDIDAS NO DEPENDEN UNICAMENTE DE LA HUMEDAD Y QUE MATERIAS EXTRAÑAS AL AISLAMIENTO O CONTAMINANTES PUEDEN CAUSAR UN F.P. ELEVADO AUN SUPONIENDO UN AISLAMIENTO SOLIDO SECO Y QUE EL ACEITE CON QUE SE LLENA EL TRANSFORMADOR PUEDE SER LA CAUSA.

SIN EMBARGO, LA EXPERIENCIA LOGRADA CON LAS PRUEBAS HA INDICADO QUE POSIBLEMENTE EL 90% DE LOS TRANSFORMADORES QUE HAN PROBADO FACTORES DE POTENCIA ALTOS HAN TENIDO COMO CAUSA UN EXCESO DE HUMEDAD. EN EL OTRO 10% CON LAS MISMAS CARACTERISTICAS DE PRUEBA, LA CAUSA HA SIDO PRINCIPALMENTE ALTO FACTOR DE POTENCIA DEL ACEITE.

POR LO ANTERIOR, PUEDE ASEGURARSE QUE LAS MEJORES CARACTERISTICAS DE F.P., RESISTENCIA DE C.A. Y CAPACITANCIA DEBE CONTENERLAS UN AISLAMIENTO SECO. ES DECIR, EL F.P. ES BAJO, UN ELEVADO VALOR DE RESISTENCIA Y UN VALOR MUY BAJO DE CAPACITANCIA.

AL AUMENTAR LA HUMEDAD, ESTAS CARACTERISTICAS COMIENZAN A AFECTARSE Y A UN

CONTINUO INCREMENTO EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD (A TEMPERATURA CONSTANTE) SE INCREMENTA LA CAPACITANCIA A MEDIDA QUE UNA REDUCCION MAS GRADUADA AFECTA LA RESISTENCIA.

LA FIG. 15.1 MUESTRA ESTA RELACION, Y PREDICE UN CAMBIO EN EL FACTOR DE POTENCIA A TEMPERATURA CONSTANTE PARA VARIOS AUMENTOS DE HUMEDAD.

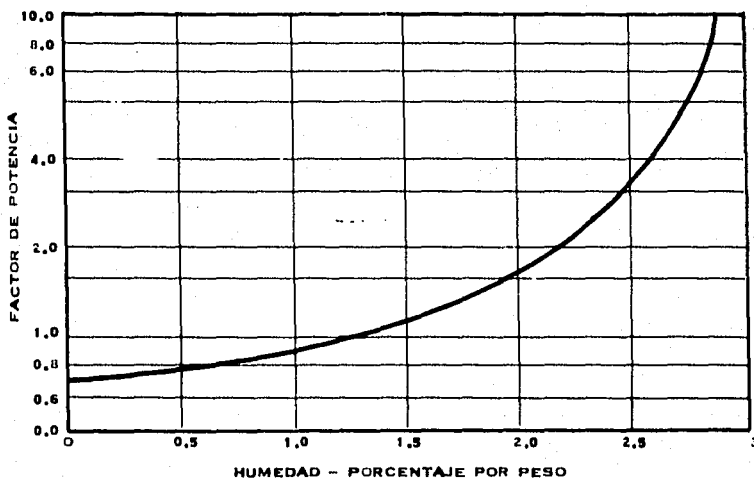


FIG. 14.1 VARIACION TIPICA DEL FACTOR DE POTENCIA CON EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS MATERIALES USADOS COMO BARRERAS EN LOS TRANSFORMADORES.

LA FIG. 16.1 MUESTRA LA RELACION ENTRE LA TEMPERATURA Y EL FACTOR DE POTENCIA PARA AISLAMIENTOS HUMEDOS Y SECOS. NOTESE QUE EL FACTOR DE POTENCIA AUMENTA, AL SUBIR LA TEMPERATURA, EN UNA MAYOR PROPORCION QUE PARA EL AISLAMIENTO HUMEDO. ESTO SIGNIFICA QUE PARA UN FACTOR DE POTENCIA CONOCIDO NO ES POSIBLE PREDECIR QUE VALORES VA A ADQUIRIR, A MENOS QUE SE TENGA LA SEGURIDAD QUE EL AISLAMIENTO ESTE SECO.

ANALISIS DE LA CONDICION DE LOS AISLAMIENTOS.- PARA DETERMINAR LA CONDICION O ESTADO DE LOS AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR EN LOS QUE SE ENCUENTREN FACTORES DE POTENCIA ELEVADOS, ES CONVENIENTE QUE ADICIONALMENTE DE LAS COMPROBACIONES USUALES, TALES COMO LAS PRUEBAS AL ACEITE Y LAS PRUEBAS CON EL MEGGER

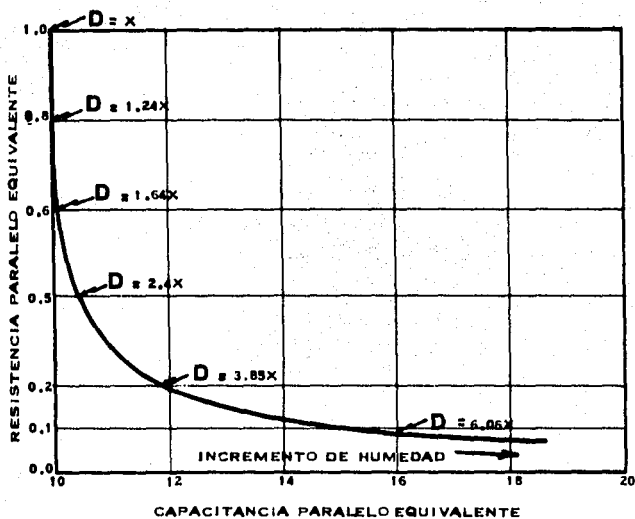


FIG. 15.1 RELACION ENTRE R_p Y C_p A TEMPERATURA CONSTANTE CON AUMENTO EN LA ABSORCION DE HUMEDAD.

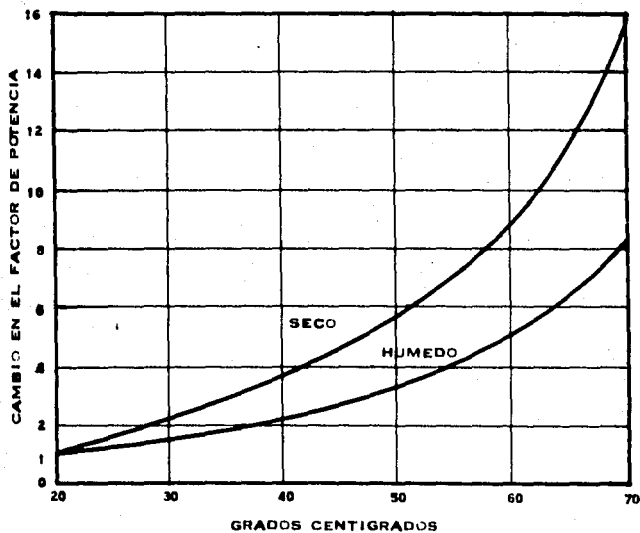


FIG. 16.1 CAMBIO DEL FACTOR DE POTENCIA CON LA TEMPERATURA.

DE ABSORCION, LAS PRUEBAS DE FACTOR DE DISIPACION SEAN REPETIDAS A MAS DE UNA TEMPERATURA, Y QUE DE ESTAS PRUEBAS SEAN SEPARADOS LOS VALORES DE **R** Y **C** DE LAS PARTES QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DIELECTRICA. SI LAS PRUEBAS NO MUESTRAN INCREMENTOS APRECIABLES DE **C** PARA LAS LECTURAS A MAS ALTAS TEMPERATURAS, EL AISLAMIENTO ESTARA RELATIVAMENTE LIBRE DE HUMEDADES. PERO SI **C** VARIA CONSIDERABLEMENTE PARA CUALQUIERA DE DICHS VALORES, LA PRESENCIA DE HUMEDAD QUEDARA DETERMINADA EN -- AQUELLA PARTE DEL AISLAMIENTO EN QUE SE PRESENTO LA VARIACION. LAS CAUSAS DE ESTO PUEDEN ESTAR BASADAS EN UN PROCESO DEFECTUOSO DE SECADO Y POR LO TANTO DEBE SER -- REACONDICIONADO.

EN ALGUNOS CASOS SE PRESENTARA QUE UN TRANSFORMADOR, TENGA UN VALOR ELEVADO DE **F.P.** Y QUE AL SER PROBADO NUEVAMENTE A UNA TEMPERATURA MAS ALTA NO MUESTRE NINGUN INCREMENTO EN LA CAPACITANCIA. PARA COMPROBAR ESTA CONDICION PUEDE SOMETERSE AL TRANSFORMADOR A UN BUEN PROCESO DE SECADO COMPLEMENTANDOLO CON UNO DE VACIO. DURANTE EL TIEMPO QUE DURE ESTE PROCESO DEBERA ESTARSE CHECANDO LA CAPACITANCIA Y SI NO HAY CAMBIOS RADICALES SE COMPROBARA QUE LA CAUSA NO ES LA HUMEDAD Y DEBE CEDERSE A CAMBIAR EL ACEITE.

PUEDE SUCEDER TAMBIEN QUE EN TRANSFORMADORES DE UN MISMO DISEÑO MUESTREN VARIACIONES EN EL FACTOR DE DISIPACION. AL ANALIZAR SEPARADAMENTE LAS PRUEBAS DE CADA UNO DE LOS APARATOS PROBABLEMENTE SE ENCUENTRE QUE ALGUNOS VALORES DE LOS -- AISLAMIENTOS SOLIDOS PERMANECEN CONSTANTES PERO QUE EN CAMBIO OTROS DE LA MISMA CONDICION DIFIEREN NOTORIAMENTE. CON EL SUPUESTO DE QUE ESTAS VARIACIONES SE DETERMINAN EN EL AISLAMIENTO SOLIDO, LA CAUSA DE LAS MISMAS INDICARAN QUE HUBO ALGUNAS DIFERENCIAS EN LOS PROCESOS DE SECADO DE CADA UNIDAD.

ALGUNOS ANALISIS DE LOS PROCESOS DE FILTRAJE HECHOS AL ACEITE HAN MOSTRADO, SEPARANDO LOS VALORES, QUE ALGUNAS PARTES DEL AISLAMIENTO CONTIENEN A VECES MAS -- HUMEDAD DESPUES DEL SECADO QUE LA QUE TENIAN ANTES DE INICIARSE AUN CUANDO EL **F.P.** RESULTE MAS BAJD. EVIDENTEMENTE ESTO PUEDE INDICAR UNA INMIGRACION DE HUMEDAD DE UNA PARTE DE LA BOBINA A OTRA Y QUE EL PROCESO DE FILTREO NO FUE COMPLETO.

EN LOS CASOS EN QUE LA RESISTENCIA SE HACE ANORMALMENTE BAJA SIN UN INCREMENTO CORRESPONDIENTE DE LA CAPACITANCIA, INDICAN UNA TRAYECTORIA DE RESISTENCIA -- MAS BAJA QUE LA HUMEDAD DISTRIBUIDA.

AL HACER ESTAS PRUEBAS DEBE PREVEERSE QUE CUANDO SE EMPLEAN ALTOS VOLTAJES DE PRUEBA, ESTOS SEAN MENORES QUE EL VOLTAJE NOMINAL DE LA BOBINA. SI SE UTILIZAN -- VOLTAJES DE PRUEBA MAS ALTOS, SE PRODUCIRAN PERDIDAS ADICIONALES, COMO POR EJEMPLO, LAS PERDIDAS POR EFECTO CORONA EN LAS BOQUILLAS O EN OTRAS PARTES. ESTAS PUEDEN -- DESDE LUEGO AFECTAR LAS LECTURAS Y ENCUBRIR EL VERDADERO ESTADO DEL AISLAMIENTO.

DETERIORO DE LOS AISLAMIENTOS.— SE HA ANALIZADO, QUE LA HUMEDAD — PRODUCE ALTAS PERDIDAS DIELECTRICAS; ESTAS A SU VEZ, TIENEN UN PRONUNCIADO EFECTO DE CALENTAMIENTO DE LOS AISLAMIENTOS, DAÑANLOS PERMANENTEMENTE AL DISMINUIR SUS CUALIDADES ELECTRICAS Y MECANICAS. ESTO ES, QUE A LAS ANTERIORES PERDIDAS ELECTRICAS SE SUMAN LAS PERDIDAS EN LA RESISTENCIA MECANICA DEL AISLAMIENTO; CAUSADAS POR LA PRESENCIA DE HUMEDAD DURANTE UN LARGO PERIODO DE SERVICIO, NO SON NUNCA RECUPERADAS AUN SECANDO AL TRANSFORMADOR NUEVAMENTE. EL SECADO REDUCE EL GRADO DE DETERIORO (PERDIDA DE RESISTENCIA MECANICA), PERO LAS PERDIDAS ANTERIORES NUNCA SON RECUPERADAS.

LIMITES DEL FACTOR DE POTENCIA.— LA TABLA IV MUESTRA LOS VALORES DE FACTOR DE POTENCIA USADOS PARA LA CLASIFICACION DEL AISLAMIENTO DEL DEVANADO DE UN TRANSFORMADOR. EN GENERAL SI SE CONSIDERA QUE EL AISLAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR NUEVO ESTA EN BUENAS CONDICIONES, PUEDE APLICARSE A CONTINUACION LA SERIE DE PRUEBAS DESTRUCTIVAS ESTANDARIZADAS PARA EL CASO. SI EL AISLAMIENTO ES DE UN TRANSFORMADOR EN SERVICIO, NO SERA NECESARIO INDICAR RECOMENDACIONES DE REPARACION O MANTENIMIENTO.

TABLA IV.— VALORES DEL FACTOR DE POTENCIA USADOS EN CLASIFICAR LA CONDICION DE LOS AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR.

CLASIFICACION DEL AISLAMIENTO DEL DEVANADO.	% FACTOR DE POTENCIA
"A".— BUENO	0%— 3,5%
"B".— DETERIORADO	3,5%— 5%
"C".— DEBE SOMETERSE A UN PROCESO DE SECADO	ARRIBA DE 5%

CUANDO EL FACTOR DE POTENCIA ESTE ENTRE 3,5 Y 5% EL AISLAMIENTO DEBE CONSIDERARSE MAS BIEN DETERIORADO. ESTA CLASIFICACION ES USADA PARA INDICAR QUE ALGUNAS FALLAS SE HAN DESARROLLADO EN EL AISLAMIENTO DEL DEVANADO PERO ESTA CONDICION NO ES TAN SERIA COMO PARA ORDENAR UN LARGO REACONDICIONAMIENTO COMO PUEDE SER UN SECADO. SIN EMBARGO, LOS TRANSFORMADORES VISTOS CON ESTAS CARACTERISTICAS, SON OBSERVADOS A MENUDDO MUY CUIDADOSAMENTE PARA PODER DETERMINAR LA O LAS CAUSAS DE LA FALLA (DEBILITAMIENTO, HUMIDIFICACION ETC.) QUE SE HAN DESARROLLADO EN LOS AISLAMIENTOS.

INFORMACION OBTENIDA DE LAS PRUEBAS.- De las discusiones anteriores, puede señalarse que la determinación de las siguientes condiciones se hacen evidentes.

- 1.- LA CONDICION DE CADA BOQUILLA QUE FORMA PARTE DE LOS AISLAMIENTOS DE UN TRANSFORMADOR.
- 2.- LA CONDICION DEL ACEITE.
- 3.- LA CONDICION DE LA ESTRUCTURA DIELECTRICA.
- 4.- LA NATURALEZA DE LAS FALLAS O DEBILITAMIENTOS QUE PUEDAN APARECER EN LA ESTRUCTURA DIELECTRICA.

ESTAS INFORMACIONES PROPORCIONAN UNA COMPROBACION CASI COMPLETA DEL AISLAMIENTO USADO EN LOS TRANSFORMADORES, QUEDANDO ESTABLECIDO QUE PARA UNA BUENA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS, LAS PRUEBAS REALIZADAS DEBERAN SUJETARSE A LOS METODOS ENUNCIADOS.

CAPITULO II

PRUEBAS DIELECTRICAS.

POTENCIAL APLICADO A LOS MATERIALES AISLANTES.— LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS AISLAMIENTOS SE VE AFECTADA POR DIVERSOS FACTORES. DE ENTRE ESTOS LOS MAS IMPORTANTES SON: TIEMPO QUE TARDAN BAJO LA ACCION DE VOLTAJES ELEVADOS Y FRECUENCIA QUE LES ES APLICADA. PARA FORMULAR Y DEJAR ESTABLECIDOS LOS VALORES DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS MATERIALES QUE VAN A EMPLEARSE EN LOS TRANSFORMADORES, SE REALIZAN PRUEBAS DESTRUCTIVAS A DIVERSAS FRECUENCIAS Y VOLTAJES DE DURACION VARIA BLE. LAS CURVAS CARACTERISTICAS OBTENIDAS DE ESTA MANERA PERMITEN SUPONER QUE LOS DEMAS MATERIALES DEL MISMO TIPO TENGAN UN COMPORTAMIENTO SIMILAR. POR LO QUE SE DA DETERMINADO UN NIVEL DE VOLTAJE DE RUPTURA PARA CADA TIPO DE AISLAMIENTO. DE ESTOS SE SELECCIONAN LOS QUE TENGAN UN NIVEL DE AISLAMIENTO MAS ALTO.

LA FIG. 1,2 MUESTRA EL CIRCUITO USADO PARA LA PRUEBA DE DICHOS AISLAMIENTOS. LA DISPOSICION DE ESTE CIRCUITO DEBE SER TAL QUE UN VOLTAJE DE LA MAGNITUD DESEADA PUEDA SER APLICADO DURANTE UNA MINIMA DURACION DE MICROSEGUNDOS O DURANTE UN TIEMPO MAS O MENOS LARGO EN UN RANGO DE 5 A 90 CICLOS.

EL VOLTAJE ES SUMINISTRADO POR EL TRANSFORMADOR DE PRUEBA T QUE ES EXCITADO POR UN REGULADOR DE INDUCCION R CON EL QUE EL VOLTAJE ES AJUSTADO. LA MUESTRA DEL MATERIAL EN PRUEBA SE CONECTA DIRECTAMENTE A TRAVES DE UNA RESISTENCIA DE CARGA R_L CON UNO DE SUS ELECTRODOS ATERRIZADOS. EL VOLTAJE DE PRUEBA SE CALIBRA POR MEDIO DE UN VOLTMETRO DE ESFERAS G, PARA QUE NO SE EXCEDA EL POTENCIAL PREVISTO.

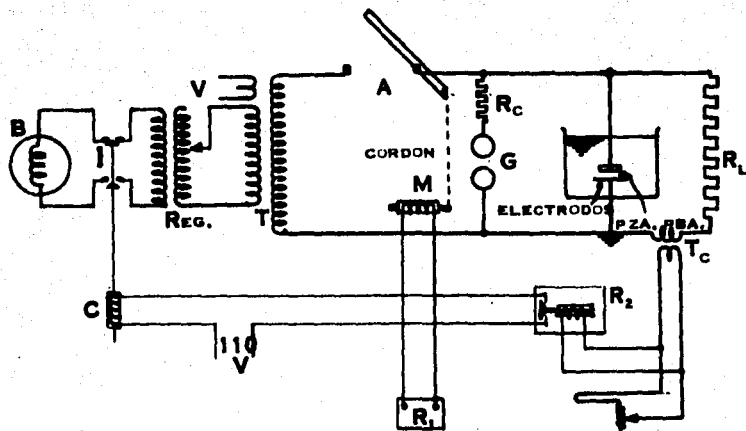


FIG. 1.2 CIRCUITO PARA PRUEBAS DE TIEMPO CORTO A 60 CICLOS.

- A.- INTERRUPTOR
- B.- GENERADOR DE 60 CICLOS
- C.- MAGNETO
- G.- VOLTMETRO DE ESFERAS
- M.- MAGNETO PARA INTERRUPTOR A
- R.- REGULADOR DE INDUCCION
- R₁.- RELE INICIAL OPERADO POR UN OSCILOGRAFO MAGNETICO.
- R₂.- RELE DE TIEMPO
- T.- TRANSFORMADOR DE PRUEBA
- T₁.- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
- V.- TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

EL METODO DE CONTROLAR Y MEDIR EL TIEMPO DE PRUEBA PUEDE RESUMIRSE COMO SIGUE. SEGUN LA FIG., EL TRANSFORMADOR T ES EXCITADO A TRAVES DE R POR EL GENERADOR B. ESTA EXCITACION SE EFECTUA HASTA QUE LA BAJA TENSION DE T PERMITA QUE AL CERRARSE EL CIRCUITO POR MEDIO DEL INTERRUPTOR A, SE APLIQUE INSTANTANEAMENTE EL VOLTAJE DESEADO A LA PIEZA EN PRUEBA. ESTE INTERRUPTOR, SE CIERRA POR GRAVEDAD, CUANDO EL MAGNETO M ES OPERADO POR R₁.

LA CORRIENTE QUE FLUYE A TRAVES DE LA RESISTENCIA DE CARGA, CIRCULA A SU VEZ POR EL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE T_1 , LA QUE INICIA LA OPERACION DEL RELE DE TIEMPO R_2 . ESTE RELEVADOR CIERRA EL CIRCUITO QUE ENERGIZA LA SOBINA DEL INTERRUPTOR DE CIRCUITO "C" EN EL PRIMARIO DEL REGULADOR, QUE AL OPERAR ABRE DICHO INTERRUPTOR - ELIMINANDOSE DE ESTA MANERA EL VOLTAJE A TRAVES DE LA PIEZA. EL NUMERO DE CICLOS DEL VOLTAJE APLICADO PUEDE VARIARSE AJUSTANDO EL RELEVADOR DE TIEMPO. EL TIEMPO DE APLICACION DE DICHO VOLTAJE ES REGISTRADO POR UN OSCILOGRAFO MAGNETICO CONECTADO A TRAVES DEL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE. EN EL SE REGISTRA EL NUMERO DE CICLOS DE LA CORRIENTE QUE FLUYE A TRAVES DE LA RESISTENCIA DE CARGA Y POR LO TANTO EL TIEMPO QUE EL VOLTAJE QUEDO APLICADO A LA MUESTRA DE MATERIAL EN PRUEBA.

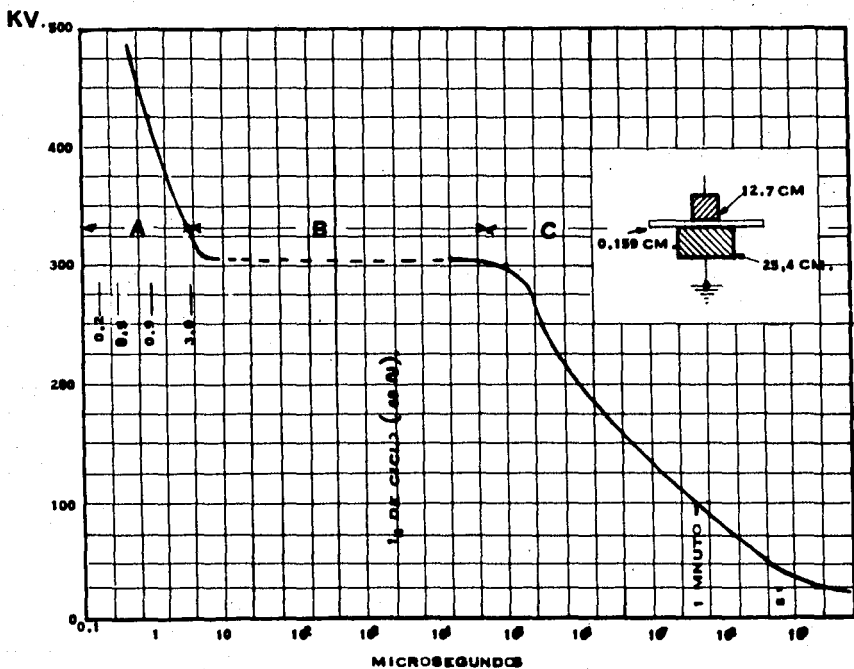


Fig. 2.2.

SI SE REQUIERE HACER UNA PRUEBA DE MAYOR DURACION, BASTA HACERLA CON UN RELOJ ORDINARIO; CON EL MISMO CIRCUITO Y ELIMINANDO LOS RELEVADORES Y DEMAS DISPOSITIVOS QUE SON INNECESARIOS.

ALGUNOS RESULTADOS DE ESTAS PRUEBAS PUEDEN APRECIARSE EN LA FIG. 2.2, QUE MUESTRA LA CURVA CARACTERISTICA VOLTAJE-TIEMPO PARA UN AISLAMIENTO SOLIDO DE 0.159

CM, DE ESPESOR, IMPREGNADO DE ACEITE DE TRANSFORMADOR. EL RANGO DEL TIEMPO VARIA DE UNA FRACCIÓN DE MICROSEGUNDO A 490,000,000 μ SEG. (8.16 MINUTOS). LA CURVA - PUEDE DIVIDIRSE EN TRES REGIONES, REGIONES A, B Y C.

LA REGION A, SE EXTIENDE DESDE EL PRINCIPIO, HASTA SUBIR A UNOS TRES MICROSEGUNDOS. EN ESTA REGION EL ESFUERZO DIELECTRICO DECRECE SUMAMENTE RAPIDO A UN INCREMENTO DEL TIEMPO DE APLICACION DEL VOLTAJE.

LA REGION B, EMPIEZA A LOS 3 MICROSEGUNDOS Y SE EXTIENDE APROXIMADAMENTE A LOS 50,000 MICROSEGUNDOS (1/20 SEGUNDO). LA RESISTENCIA DIELECTRICA PERMANECE -- CONSTANTE A TRAVES DE ESTA REGION.

EN LA REGION C, LA RESISTENCIA DIELECTRICA DECRECE NUEVAMENTE, AL PRINCIPIO MUY RAPIDO Y LUEGO MAS LENTAMENTE HASTA QUE GRADUALMENTE LLEGA A HACERSE CONSTANTE OTRA VEZ.

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO A LOS TRANSFORMADORES.- LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DIELECTRICA A TRANSFORMADORES COMPLETOS, SON BASICAMENTE LAS MISMAS QUE EN LAS PRUEBAS INDEPENDIENTES DE LOS AISLAMIENTOS. SIN EMBARGO, - EXISTEN VARIAS DIFERENCIAS IMPORTANTES. UNA DE LAS PRINCIPALES ES QUE LA DURACION DE LA PRUEBA ES FIJA Y NO DEBE EXCEDER DEL MINUTO, TIEMPO EN EL QUE, SEGUN LAS CARACTERISTICAS OBTENIDAS, LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO TIENDE A PERMANECER CONSTANTE, NO SIENDO NECESARIO PROLONGARLA MAS PUES PODRIA INCURRIRSE EN QUE A UNA DURACION - PROLONGADA DEL SOBRE VOLTAJE Y AL AUMENTO INHERENTE DE LA EXCITACION SE LLEGASE A SATURAR EL NUCLEO.

OTRA DE LAS DIFERENCIAS ESTA EN EL METODO SEGUIDO EN LA PRUEBA QUE ES EL SIGUIENTE:

CIRCUITO.- BASICAMENTE EL MISMO DE LA FIG. 1.2 EXCEPTO LA PRESENCIA DE R_L , T. C., Y RELEVADORES.

VOLTAJE APLICADO.- EL VALOR DEL VOLTAJE APLICADO DEBE SER EL EFICAZ Y DEPENDE DE LA CLASE DE AISLAMIENTOS DEL DEVANADO BAJO PRUEBA.

EN EL CASO DE DEVANADOS CON DOS CLASES DE AISLAMIENTOS COMO SUCEDE EN LOS TRANSFORMADORES CONECTADOS EN ESTRELLA O MONOFASICOS DISEÑADOS PARA ESTA CONEXION Y QUE TIENEN AISLAMIENTO REDUCIDO PROGRESIVAMENTE AL NEUTRO, EL VOLTAJE QUE SE LE APLICA ES EL QUE CORRESPONDE A LA CLASE DE AISLAMIENTO DEL NEUTRO.

AL APLICAR EL VOLTAJE DE PRUEBA SE DEBERA INICIAR CON EL MINIMO OBTENIBLE EN

EL EQUIPO DE PRUEBA Y SE AUMENTARA LENTAMENTE HASTA ALCANZAR EL VALOR DESEADO — APROXIMADAMENTE EN 15 SEGUNDOS, EL PROCEDIMIENTO INVERSO SE SIGUE PARA QUITAR EL VOLTAJE APLICADO. SI LO ANTERIOR NO SE HACE; ES DECIR SI EL VOLTAJE ES INTERRUPTIDO BRUSCAMENTE, EL AISLAMIENTO PUEDE SER DAÑADO POR ALGUN VOLTAJE TRANSITORIO ELEVADO, Y SOLO EN CASO DE FALLA SE QUITARA EL VOLTAJE APLICADO SIN DISMINUIRLO PREVIAMENTE.

CUANDO EL VOLTAJE DE PRUEBA ES MUY ALTO; 100 KV O MAS, ES CONVENIENTE ANTES DE LLEGAR AL VOLTAJE DESEADO, MANTENERLO CON EL 70% DE DICHO VOLTAJE DURANTE UN MINUTO, PARA LIBERAR GASES O BURBUJAS DE AIRE QUE PUDIERAN ENCONTRARSE DENTRO DEL LIQUIDO AISLANTE DEL TRANSFORMADOR.

ES IMPORTANTE QUE EL NUCLEO Y LOS ARROLLAMIENTOS QUE NO ESTEN BAJO PRUEBA PERMANEZCAN CONECTADOS A TIERRA; DE NO SER ASI, ENTRE EL NUCLEO Y DICHOS ARROLLAMIENTOS SE INDUCIRA UN VOLTAJE QUE TRATANDOSE DEL DEVANADO DE BAJA TENSION PODRIA INCLUSO SER MAYOR AL QUE LE PERTENECE EN SU PRUEBA.

LA MEDICION Y EL CONTROL DEL VOLTAJE DE PRUEBA SE HACE POR MEDIO DE DOS METODOS MUY COMUNES EN LA MEDICION DE VOLTAJES ALTERNOS.

- A).- MEDICION CON UN VOLTMETRO A TRAVES DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL, DISEÑADO ESTE ULTIMO PARA TENER COMO UNICA CARGA EL VOLTMETRO.
- B).- MEDICION POR MEDIO DEL VOLTMETRO DE ESFERAS. PARA ESTE METODO SE — HACE UNA AMPLIA CALIBRACION DE LAS ESFERAS QUE TIENEN EL AIRE COMO DIELECTRICO. AL APLICAR UN CIERTO VOLTAJE A UN TRANSFORMADOR, SE HACE NECESARIO COMPROBAR EL EQUIPO POR LO QUE PRIMERAMENTE SE EFECTUA UN INTENTO DE PRUEBA HACIENDO SALTAR EL ARCO ENTRE LAS ESFERAS A UN VOLTAJE POCO MENOR QUE EL DE PRUEBA, CON ESTO, SE ABREN LAS ESFERAS CALIBRANDO LAS A UN ENTREHIERRO SUFICIENTE PARA SOPORTAR UN VOLTAJE DE UN 10% MAYOR SIN ROMPER PERO QUE EN EL CASO DE QUE SUBA DEMASIADO, SE VAYA INMEDIATAMENTE A TIERRA.

CON ESTA PRUEBA SE VERIFICAN LOS AISLAMIENTOS ENTRE BOBINAS O LAS DISTANCIAS ENTRE BARRERAS DE UNA Y OTRA Y LAS DISTANCIAS A TIERRA.

LAS CONEXIONES FISICAS DEL TRANSFORMADOR INDEPENDIEMENTE DE SUS CONEXIONES INTERNAS, EXCEPTO, ESTRELLA CON NEUTRO A TIERRA, SON LAS SIGUIENTES: TODAS LAS TERMINALES DEL DEVANADO A PRUEBA SE CONECTAN ENTRE SI Y A SU VEZ A LA TERMINAL VIVA PROVENIENTE DEL TRANSFORMADOR DE PRUEBA. TODAS LAS DEMAS TERMINALES, INCLUYENDO AL NUCLEO Y TANQUE, SE CONECTAN A TIERRA Y A LA OTRA TERMINAL DEL MISMO TRANSFORMADOR DE PRUEBA POR MEDIO DE UN BUEN CIRCUITO METALICO.

COMO UNA INDICACION FINAL A ESTA PRUEBA PUEDE DECIRSE QUE NO SE DEBEN COLO-

CAR RESISTENCIAS EN SERIE CON EL DEVANADO EN PRUEBA PUES OCASIONARIAN DEFORMACIONES DE LA ONDA QUE DEBE PREFERIRSE SEA LO MAS SENOIDAL POSIBLE.

PRUEBAS DIELECTRICAS EN LOS TRANSFORMADORES CON NEUTRO A TIERRA.- EN LOS TRANSFORMADORES CON BOBINAS PERMANENTEMENTE A TIERRA LA PRUEBA DE VOLTAJE INDUCIDO ES LA UNICA PRUEBA DIELECTRICA A LA QUE SE SOMETEN LOS DEVANADOS. ESTA PRUEBA SE APLICA PARA COMPROBAR EL AISLAMIENTO ENTRE VUELTAS, CAPAS, DUCTOS Y SECCIONES DE LOS DEVANADOS, PRINCIPALMENTE Y DETERMINA TAMBIEN SI DICHS AISLAMIENTOS SE HAN DAÑADO POR LA ACCION DE LAS PRUEBAS PRECEDENTES.

ACTUALMENTE, LA DEMANDA DE TRANSFORMADORES CON NEUTRO A TIERRA ES CONSIDERABLE POR LO QUE EL NUMERO DE PRUEBAS POR EL METODO DE POTENCIAL INDUCIDO PARA PROBAR AISLAMIENTOS HA IDO EN AUMENTO. EN EL CASO DE TRANSFORMADORES MONOFASICOS, EN LOS QUE SE REQUIERE CAUSAR UN ESFUERZO IGUAL A DOS VECES EL POTENCIAL DE LINEA; EN LAS TERMINALES DE LOS DEVANADOS EL VOLTAJE INDUCIDO DEBE SER $2\sqrt{3}$ O 3.46 VECES EL NOMINAL. CON EL OBJETO DE PRESERVAR LA CORRIENTE DE EXCITACION DENTRO DE UN VALOR RAZONABLE DEBIDO A LA ALTA INDUCCION APLICADA AL NUCLEO, LA FRECUENCIA TIENE QUE SER MAS ELEVADA QUE LA FRECUENCIA NOMINAL, CON LO QUE ADEMAS SE REDUCE LA POTENCIA REQUERIDA PARA LA EXCITACION.

EFFECTOS DEL TIEMPO Y LA FRECUENCIA.- PARA MANTENER LA DENSIDAD DE FLUJO DE 60 CICLOS, A 3.46 VECES EL VOLTAJE NOMINAL SE REQUIEREN 60×3.46 O SEA 208 CICLOS, LO QUE SIGNIFICA QUE LA CAPACIDAD DEL GENERADOR REQUERIDO PARA LA PRUEBA DEBE SER ELEVADA DEPENDIENDO DE LA CAPACIDAD DE LOS TRANSFORMADORES QUE SE VAN A PROBAR.

DEBIDO A QUE LA CORRIENTE DE EXCITACION DECRECE MUY RAPIDAMENTE CON LA DENSIDAD DEL HIERRO DEL NUCLEO, LO MAS PRACTICO EN LA PRUEBA DE UNIDADES GRANDES, ES EL USAR UN GENERADOR DE MAS ELEVADA FRECUENCIA QUE LOS 208 CICLOS ENUNCIADOS. EN CIERTOS CASOS ESTO SE HA HECHO UTILIZANDOSE 400 CICLOS CON UNA REDUCCION EN EL TIEMPO DE APLICACION DEL VOLTAJE PARA DAR UN TOTAL DE 7200 CICLOS. DE ESTA MANERA LA PRUEBA CUMPLE SATISFACTORIAMENTE EL ASPECTO DE FRECUENCIA REQUERIDA POR LOS AISLAMIENTOS.

ES OBVIO QUE, EXCEPTO EN LOS AISLAMIENTOS LIQUIDOS, PARA PRODUCIR EL MISMO ESFUERZO DE VOLTAJE, EL TIEMPO REQUERIDO DEBE REDUCIRSE A MEDIDA QUE LA FRECUENCIA SE AUMENTA, PUES LAS PERDIDAS DIELECTRICAS SE INCREMENTAN AL MISMO TIEMPO QUE LA FRECUENCIA AUMENTA, DISMINUYENDO CON ESTO LA RESISTENCIA DIELECTRICA.

LA MANERA DE COMO EL TIEMPO DEBE REDUCIRSE PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS A DIFERENTES FRECUENCIAS Y HACERLAS DE IGUAL SEVERIDAD QUE LAS DE 60 CICLOS FUERON - -

EXTENSAMENTE INVESTIGADAS EN INFINIDAD DE MATERIALES PARA AISLAMIENTO DE TRANSFORMADORES POR MONTSINGER Y J. VOGEL LOS CUALES SE BASARON EN LA CONSIDERACION DE QUE EL ESFUERZO DE VOLTAJE A DIFERENTES FRECUENCIAS ERA EXACTAMENTE EL MISMO SI EL TIEMPO SE TOMABA INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA FRECUENCIA. EN REALIDAD ES LOGICO ESPERAR QUE DENTRO DE CIERTOS LIMITES LOS ESFUERZOS SEAN ALGO MAS SEVEROS PARA LAS FRECUENCIAS ALTAS QUE PARA LAS BAJAS POR LA RAZON DE QUE HAY MENOS OPORTUNIDAD DE DISIPAR EL CALOR DEL AISLAMIENTO SOLIDO. LOS ASPECTOS PRINCIPALES CONSEGUIDOS EN LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS A LOS MATERIALES AISLANTES QUE POSTERIORMENTE DEBEN APLICARSE A LOS TRANSFORMADORES PARA SU AISLAMIENTO SON LOS SIGUIENTES:

- A).- ARRIBA DE CIERTOS LIMITES, EL TIEMPO DE APLICACION ASI COMO EL VOLTAJE - INDUCIDO PUEDEN CAUSAR POR SI MISMOS, FALLAS DEL AISLAMIENTO. LA RESISTENCIA DIELECTRICA PUEDE SER EXPRESADA COMO UNA FUNCION DEL TIEMPO Y - DEL VOLTAJE POR UNA ECUACION DE LA FORMA

$$KV = E_f \left(A + \frac{1-A}{\sqrt{T}} \right)$$

EN LA QUE E_f SON LOS KILOVOLTS NECESARIOS PARA CAUSAR LA FALLA EN UN - MINUTO, "A" ES UNA CONSTANTE REPRESENTANDO LA RELACION DE LA RESISTENCIA PARA UN TIEMPO INFINITO A LA RESISTENCIA DE UN MINUTO Y T REPRESENTA AL TIEMPO EN MINUTOS. EL VALOR DE "A" VARIA PARA DIFERENTES MATERIALES.

- B).- LA FALLA DEL AISLAMIENTO POR ESCURRIMIENTO, ES DECIR EL FLAMEO A TRAVES DEL MATERIAL AISLANTE CON LOS ELECTRODOS EN EL MISMO LADO O EN LADOS - OPUESTOS DE LA MUESTRA (ARREGLADOS DE TAL MANERA QUE EL AISLAMIENTO - SOLIDO QUEDA BAJO UN ESFUERZO CONSIDERABLE) NO ES PROVOCADA NI AFECTADA POR EL TIEMPO.
- C).- EL COMPORTAMIENTO DEL ACEITE SIN COMBINARSE CON LAS BARRERAS ES TAN - ERRATICO QUE NO PUEDEN OBTENERSE MUCHAS RELACIONES DEFINIBLES ENTRE EL TIEMPO Y RESISTENCIAS DIELECTRICAS. EN GENERAL, EL TIEMPO DISMINUYE LA RESISTENCIA DIELECTRICA MUCHO MAS RAPIDO EN LOS PRIMEROS SEGUNDOS, DES PUES DE LOS CUALES EL EFECTO DE ESTE DISMINUYE Y PROBABLEMENTE DESAPAREZCA ENTERAMENTE DESPUES DE DOS O TRES MINUTOS.
- D).- EL EFECTO DEL TIEMPO EN LA RESISTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS SOLIDOS Y DEL ACEITE EN SERIE ES APROXIMADAMENTE EL MISMO QUE PARA LOS AISLAMIENTOS SOLIDOS SOLOS, HASTA QUE LA DISTANCIA DEL ACEITE EXCEDA EL ESPESOR DE ESTOS AISLAMIENTOS DESPUES DE LO CUAL COMIENZA A SER EL MISMO QUE PARA - EL ACEITE SIN BARRERAS.

- e).- LAS CURVAS VOLTAJE-TIEMPO PARA LOS AISLAMIENTOS SOLIDOS SON APROXIMADAMENTE DEL MISMO PERFIL PARA TODAS LAS FRECUENCIAS DE 120 A 400 CICLOS, - ADEMÁS LA RESISTENCIA DECRECE A UN INCREMENTO EN LA FRECUENCIA "F" QUE RESPONDE APROXIMADAMENTE A LA SIGUIENTE FORMA

$$KV = 1.75/F^{0.137}$$

- f).- LAS FALLAS POR ESCURRIMIENTOS SOBRE LAS SUPERFICIES DE LOS AISLAMIENTOS SOLIDOS QUE NO ESTEN SIENDO SOMETIDOS A ESFUERZOS (POR EJ. CON LOS ELECTRODOS EN EL MISMO LADO DE LA BARRERA) TOMAN LUGAR A APROXIMADAMENTE - EL MISMO VOLTAJE PARA TODAS LAS FRECUENCIAS DE 120 A 400 CICLOS; PERO - SI LOS ELECTRODOS ESTAN EN OPOSICION (EN CADA LADO DE LA BARRERA) Y DE TAL MODO QUE EL AISLAMIENTO ESTE SUJETO A UN ESFUERZO CONSIDERABLE, EL VALOR DEL VOLTAJE DE FALLA DISMINUYE A UN AUMENTO DE LA FRECUENCIA.
- g).- EL VOLTAJE DE RUPTURA DEL ACEITE ES EL MISMO PARA TODAS LAS FRECUENCIAS DESDE 60 A 400 CICLOS.
- h).- EL EFECTO DE LA FRECUENCIA EN EL VOLTAJE DE RUPTURA DEL AISLAMIENTO SOLIDO CON EL ACEITE EN SERIE ES EL MISMO QUE PARA EL AISLAMIENTO SOLIDO - HASTA QUE LA DISTANCIA DEL ACEITE EXCEDE EL ESPESOR DE ESTE, DESPUES DE LO CUAL EL EFECTO DISMINUYE Y A MEDIDA QUE LA DISTANCIA DEL ACEITE AUMENTA EL EFECTO SE APROXIMA A SER EL MISMO DE EL ACEITE SIN BARRERAS.
- i).- CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE AMBOS TIEMPOS Y FRECUENCIA EN LA RESISTENCIA DIELECTRICA SE PUEDE DETERMINAR EL LAPSO DE TIEMPO PROPIA PARA HACER EL ESFUERZO DE VOLTAJE A ALTAS FRECUENCIAS IGUAL AL ESFUERZO A 60 CICLOS PARA UN MINUTO, VALOR QUE ES EL QUE SE DESEA CAUSAR A LOS AISLAMIENTOS.

TIPOS DE FALLAS DEL AISLAMIENTO.- DE LO ANTERIOR PUEDE ADMITIRSE - QUE EXISTEN DOS DIVISIONES POSIBLES DE FALLA; UNA EN LA CUAL SE CONSIDERA UNICAMENTE UNA FALLA DEL ACEITE, ES DECIR, FALLA EN LA CUAL EL AISLAMIENTO SOLIDO NO ES PERFORADO Y OTRA EN QUE LA PERFORACION SE PRESENTA. ESTOS PUEDEN SUBDIVIDIRSE COMO SIGUE: POR ROMPIMIENTO DEL ACEITE, POR ESCURRIMIENTO A LO LARGO DE LA SUPERFICIE DEL MATERIAL SOLIDO Y POR LA PERFORACION DEL MATERIAL SOLIDO UNICAMENTE O CON LA INTERVENCION DE LOS DUCTOS DE ACEITE ENTRE LAS HOJAS DEL MATERIAL SOLIDO.

FRECUENCIA DEL VOLTAJE APLICADO Y DURACION DE LAS PRUEBAS.-

SE HA VISTO QUE EL AUMENTO DE FRECUENCIA HACE LAS PRUEBAS MAS SEVERAS Y POR LO TANTO DEBE REDUCIRSE EL TIEMPO DE APLICACION PARA NO SUJETAR A LOS AISLAMIENTOS DE LOS

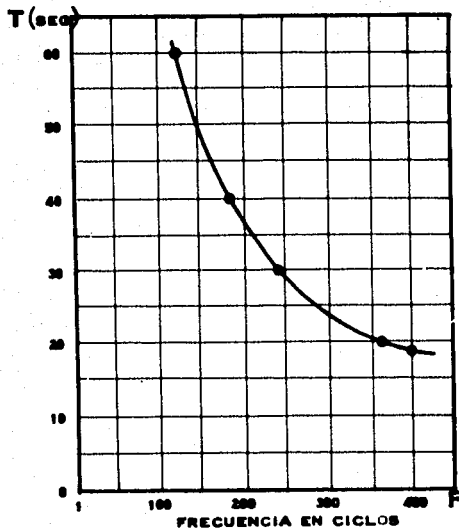


Fig. 3.2.

TRANSFORMADORES A ESFUERZOS INNECESARIOS.

LA SIGUIENTE CURVA FIG. 3.2 REPRESENTA LA CARACTERISTICA FINAL DE FRECUENCIA CONTRA TIEMPO PROPIA DE LOS AISLAMIENTOS APLICABLES A LOS TRANSFORMADORES.

LA CURVA ESTA BASADA EN EL VOLTAJE DE FALLA DE LOS AISLAMIENTOS PROBADOS A DIFERENTES FRECUENCIAS HASTA SU ROMPIMIENTO.

LA FRECUENCIA TOTAL DE PRUEBA DEBE SER COMO SE HA MENCIONADO CON ANTERIORIDAD DE 7200 CICLOS Y EN CONSECUENCIA LA DURABILIDAD DE LA PRUEBA QUEDA DETERMINADA DENTRO DE UN CIERTO LIMITE MISMO QUE ESTA REPRESENTADO EN LA TABLA I QUE MUESTRA EN FORMA TABULADA ALGUNOS DE LOS VALORES DE LA CURVA DE LA FIG. 3.2 ANTES MENCIONADA.

TABLA I.

FRECUENCIA EN CICLOS. DURACION EN SEGUNDOS.

120	60
180	40
240	30
360	20
400	18

APLICACION DEL VOLTAJE INDUCIDO A LOS DIVERSOS TIPOS DE TRANSFORMADORES.- EL POTENCIAL QUE DEBE INDUCIRSE A LOS TRANSFORMADORES QUE TIENEN AISLAMIENTOS NORMALES EN TODOS SUS ARROLLAMIENTOS, EL DOBLE DE SU VOLTAJE NOMINAL. A LOS ARROLLAMIENTOS ESTUDIADOS ANTERIORMENTE O SEAN LOS QUE TIENEN AISLAMIENTO - REDUCIDO PROGRESIVAMENTE AL NEUTRO EN CUALQUIERA DE SUS ARROLLAMIENTOS, EL VALOR DEL POTENCIAL INDUCIDO DEBE SER TAL QUE PRODUZCA ENTRE LA TERMINAL DE MAYOR CLASE DE AISLAMIENTO Y TIERRA (NO NECESARIAMENTE ENTRE TERMINAL Y NEUTRO PUES PUEDE QUE NO TENGA EL NEUTRO CONECTADO A TIERRA), UN VOLTAJE IGUAL AL QUE LE CORRESPONDE EN LA PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO A SU MAXIMA CLASE DE AISLAMIENTO.

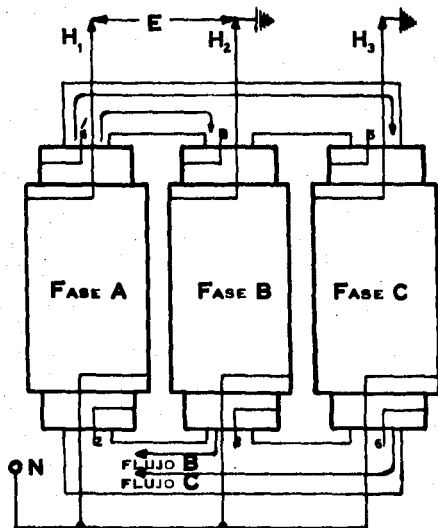


FIG. 4.2.

SI EL TRANSFORMADOR ES TRIFASICO LA PRUEBA DEBE INFLINGIRSE A CADA FASE POR SEPARADO.

EN LA FIG. 4.2 SE MUESTRA EL ESQUEMA DE CONEXIONES PARA TRANSFORMADORES - EN ESTRELLA CON AISLAMIENTO REDUCIDO EN EL NEUTRO. EL POTENCIAL INDUCIDO ENTRE LA NEA Y TIERRA ES REPRESENTADO POR E.

ESTA PRUEBA PUEDE SER HECHA INDIVIDUALMENTE A CADA FASE COMO SIGUE: PARA

PROBAR H_1 , SE DESCONECTA EL NEUTRO DE LA A. T. Y SE ATERRIZAN H_2 Y H_3 QUEDANDO EN PARALELO LAS FASES B Y C Y EN SERIE CON LA FASE A. EL FLUJO DE LAS FASES B Y C SE SUMAN EN LA FASE A.

APLIQUESE SUFICIENTE VOLTAJE EN LAS TERMINALES DE BAJA TENSION SEGUN LA FASE EN PRUEBA HASTA OBTENER EL INDUCIDO "E" DE H_1 A TIERRA.

PARA PROBAR H_2 , SE ATERRIZAN H_1 Y H_3 Y EN FORMA SIMILAR SE EFECTUA LA PRUEBA DE H_3 .

CONTROL DE VOLTAJE.— EL VOLTAJE PUEDE SER INICIADO FAVORABLEMENTE A UNA CUARTA PARTE O MENOS DEL VALOR TOTAL, E IRSE INCREMENTANDO CONSTANTEMENTE HASTA EL VALOR COMPLETO EN NO MENOS DE 15 SEGUNDOS. DESPUES DE HABERSE MANTENIDO EL TIEMPO ESPECIFICADO, SE REDUCE LENTAMENTE (EN NO MAS DE 5 SEGUNDOS) A UN CUARTO DEL VOLTAJE TOTAL O MENOS ANTES DE ABRIR EL CIRCUITO.

LOS TRANSFORMADORES QUE TIENEN EL NEUTRO CONECTADO SOLIDAMENTE A TIERRA, NO DEBE SUJETARSE A ESFUERZOS ELECTROSTATICOS ELEVADOS ENTRE BOBINAS Y TIERRA. PARA ELIMINAR TALES ESFUERZOS PUEDE HACERSE LO SIGUIENTE: SI EL TRANSFORMADOR ES MONOFASICO Y UNA DE SUS TERMINALES DEL DEVANADO DE ALTA TENSION ESTA SOLIDAMENTE A TIERRA, DEBE CONECTARSE UNA TIERRA EN LA BOBINA DE BAJA TENSION DURANTE LA PRUEBA DE VOLTAJE INDUCIDO. DE MANERA SIMILAR, SI EL TRANSFORMADOR ES TRIFASICO Y EL NEUTRO DE LA ALTA TENSION ESTA A TIERRA, DEBE SITUARSE UNA TIERRA EN EL DEVANADO DE BAJA TENSION DURANTE LA PRUEBA. SI LA BOBINA DE BAJA ESTA CONECTADA EN ESTRELLA Y SU NEUTRO ES FLOTANTE, ESTE DEBERA CONECTARSE A TIERRA. SI ESTA EN CONEXION DELTA, LA TIERRA DEBERA SER HECHA EN EL NEUTRO DE LA CONEXION ESTRELLA DE UN TRANSFORMADOR AUXILIAR. SI ESTA MISMA CONEXION DELTA, PERTENECE A UN TRANSFORMADOR CON UNA TENSION NOMINAL DE 7,500 VOLTS PUEDE PERMITIRSE QUE UNA DE LAS ESQUINAS DEL TRANSFORMADOR SE ATERRICE. POR ULTIMO SI EXISTE UN DEVANADO TERCARIO TAMBIEN DEBERA CONECTARSE A TIERRA.

DEBIDO A QUE LA CORRIENTE DE CARGA CORRESPONDIENTE A LA ALTA FRECUENCIA Y AL ALTO VOLTAJE INDUCIDO DE PRUEBA, PUEDE LLEGARSE A PRODUCIR UN GRAN AUMENTO DE VOLTAJE DEBIDO AL INCREMENTO DE LA REACTANCIA DEL TRANSFORMADOR A ALTAS FRECUENCIAS. DE ESTA MANERA, AUN CUANDO LA ONDA DE VOLTAJE IMPRESO RESULTE SENOIDAL, EL VOLTAJE DE PRUEBA EN EL DEVANADO DE ALTA TENSION PUEDE LLEGAR A SER MAS GRANDE QUE EL CORRESPONDIENTE A LA RELACION DE TRANSFORMACION.

PARA ELIMINAR EL PELIGRO QUE ESTO OCASIONA, DEBE CONECTARSE EL VOLTMETRO DE ESFERAS A TRAVES DEL DEVANADO DE ALTA TENSION LIMITANDOSE CON LA CALIBRACION EL VOLTAJE INDUCIDO EN ESTE DEVANADO. EL VOLTAJE PUEDE SER DETERMINADO TANTO COMO POR EL

VOLTMETRO DE ESFERAS O BIEN POR LAS LECTURAS OBTENIBLES POR MEDIO DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL A TRAVES DEL MISMO DEVANADO DE ALTA TENSION DEL TRANSFORMADOR EN PRUEBA. EL METODO DEL VOLTMETRO DE ESFERAS ES PREFERIBLE, PERO AMBOS METODOS DEBEN SER EMPLEADOS DE SER POSIBLE. DESPUES DE QUE EL VOLTAGE PROPIO DE LA PRUEBA HAYA SIDO DETERMINADO POR EL VOLTMETRO DE ESFERAS, ESTAS PUEDEN SER DISTANCIADAS - A APROXIMADAMENTE UN 10% Y DEJARLA SIEMPRE INTERCALADA AL CIRCUITO PARA QUE SIRVA COMO PROTECCION CONTRA LOS SOBRE VOLTAJES.

CAPITULO III

PRUEBAS DE IMPULSO.

GENERALIDADES.- LAS MANIFESTACIONES FISICAS DE LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS SE HAN HECHO PATENTES DESDE LOS TIEMPOS MAS REMOTOS, PERO PUEDE DECIRSE QUE SOLAMENTE HASTA HACE UNOS 40 AÑOS, EL FENOMENO HA LLEGADO A HACERSE PARCIALMENTE COMPRESIBLE. FRANKLIN, EN SUS EXPERIMENTOS, IDENTIFICO LAS DESCARGAS ELECTRICAS COMO ELECTRICIDAD ESTATICA Y A PARTIR DE ESTOS HECHOS LOS ADELANTOS LOGRADOS EN SU ESTUDIO, SE DEBIERON PRINCIPALMENTE A LA NECESIDAD DE LA INDUSTRIA ELECTRICA DE PROTEGERSE CONTRA SUS EFECTOS.

A MEDIDA QUE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION LLEGARON A SER INSUFICIENTES, LA NECESIDAD DE CONSTRUIR LINEAS DE TRANSMISION LARGAS SE HIZO INDISPENSABLE. DE ESTA MANERA, SE AGUDIZO EL PROBLEMA DE LAS DESCARGAS, PUES SI BIEN EN OCASIONES AL CAER UN RAYO SOBRE LA LINEA EN UNA ZONA APARTADA DE LA SUBESTACION, LA ONDA PRODUCIDA PUEDE SER ALIVIADA POR LA DESCARGA CIRCULANTE DE UN AISLADOR O UN PARARRAYOS, EN OTRAS - PUEDE SUCEDER QUE LA ONDA NO SE VAYA A TIERRA Y VIAJE SOBRE LA LINEA HASTA LLEGAR A LA SUBESTACION DONDE PUEDE LLEGAR A PENETRAR POR LOS DEVANADOS DEL TRANSFORMADOR. POR LO TANTO, ANTES DE QUE LOS TRANSFORMADORES FUDIERAN SER DISEÑADOS PARA SOPORTAR ONDAS DE TAN CORTA DURACION PERO DE TAN ELEVADA INTENSIDAD ERA NECESARIO DETERMINAR EN QUE CONSISTIAN DICHAS CARGAS. ESTE FUE EL VERDADERO INCENTIVO PARA QUE INVESTIGADORES Y FABRICANTES ESTUDIARAN MAS A FONDO EL MECANISMO DE LOS RAYOS Y SUS VOLTAJES Y CORRIENTES ASOCIADAS CON EL. LAS INFORMACIONES SE FUERON REGISTRANDO - POR MEDIO DE INSTRUMENTOS ESPECIALES PARA MEDIR LOS VOLTAJES DE LAS ONDAS DEL RAYO, SIENDO EL OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS EL MAS USADO, PUES PERMITE APRECIAR Y ADE -

MAS FOTOGRAFIA EL TRAZO DE LAS ONDAS DE VOLTAJE O DE CORRIENTE DE MINIMA DURACION.

DE LAS INVESTIGACIONES OBTENIDAS, SE HA PODIDO DETERMINAR QUE EN EL CASO DE QUE UNA ONDA DE RAYO DESCARGUE A TIERRA (POR MEDIO DE DISPOSITIVOS CONECTADOS EN EL EQUIPO ELECTRICO), ESTA TIENE UNA CAIDA BRUSCA Y CASI VERTICAL DEL VOLTAJE PERFILAN DOSE UNA ONDA SEMEJANTE A LA DIBUJADA EN LA FIG. 1,3 Y A LA QUE SE HA LLAMADO DE DIVERAS MANERAS TALES COMO ONDA CORTADA EN SU FRENTE, FRENTE DE ONDA O DE FRENTE - ESCARPADO. EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE QUE LA ACCION COMIENZA HASTA QUE EL VOL-

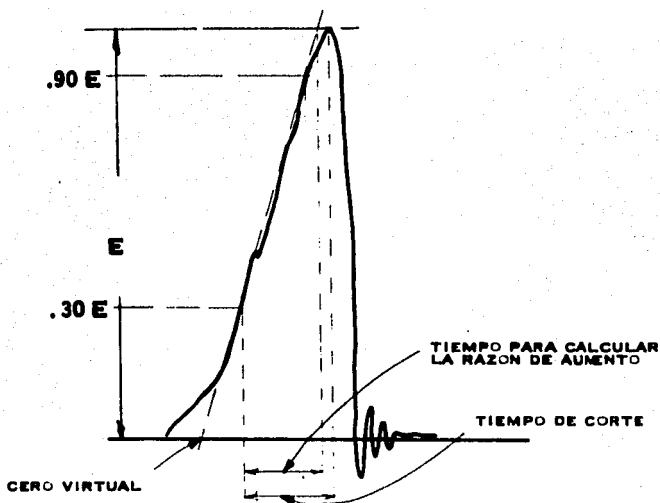


Fig. 1.3 ONDA DE FRENTE ESCARPADO.

TAJE CAE A CERO ES DEL ORDEN DE 0,25 A 1 MICROSEGUNDO. SE HA CONCLUIDO GENERALMENTE QUE ESTA ONDA VIAJERA DESPUES DE RECORRER UNA CIERTA DISTANCIA A LO LARGO DE LA LINEA, ALCANZA EL PERFIL DE LA ONDA MOSTRADA EN LA FIG. 2,3. ESTA FORMA DE ONDA ES UNA ONDA NORMAL DE IMPULSO Y SE LE DEFINE GENERALMENTE COMO DE $1,5 \times 40$ MICROSEGUNDOS. EL 1,5 INDICA EL TIEMPO EN MICROSEGUNDOS NECESARIO PARA QUE EL VOLTAJE ALCANZE SU VALOR DE CRESTA MAXIMO Y EL 40, INDICA EL TIEMPO EN MICROSEGUNDOS QUE TARDA LA ONDA EN DECLINAR HASTA UN VALOR DE VOLTAJE QUE SEA LA MITAD DEL VALOR DE CRESTA.

ESTUDIOS POSTERIORES INDICARON QUE A MEDIDA QUE ESTA ONDA VIAJERA SE APROXI-

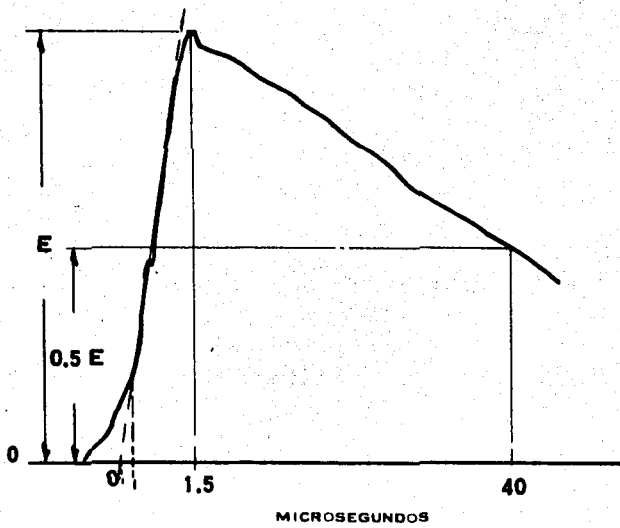


FIG. 2.3 ONDA COMPLETA.

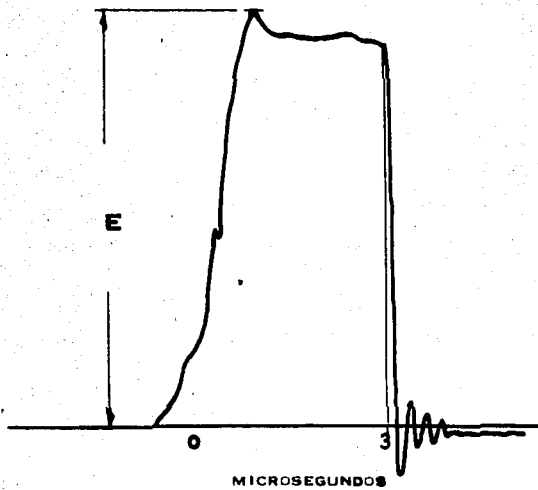


FIG. 3.3 ONDA CORTADA.

MA AL TRANSFORMADOR, DEBE SER ENVIADA A TIERRA, PUES DEBIDO AL NIVEL DE AISLAMIENTO MAS BAJO QUE SE TIENE EN LAS SUBESTACIONES O EN LUGARES CERCANOS COMPARATIVAMENTE CON EL NIVEL DE AISLAMIENTO EN LOS TRANSFORMADORES, LAS PROTECCIONES DEBEN OPERAR ELIMINANDOSE DE ESTA MANERA LOS DAÑOS QUE LAS DESCARGAS PUDIERAN OCASIONAR. UNA ONDA DE VOLTAJE DE ESTE TIPO ES LLAMADA ONDA CORTADA Y TOMA UNA FORMA APROXIMADA A LA DIBUJADA EN LA FIG. 3,3. GENERALMENTE EL TIEMPO DE CORTE ES DE 3 A 5 MICROSEGUNDOS.

UNA VEZ ESTABLECIDAS EL TIPO DE ONDAS ENCONTRADAS EN SERVICIO ES NECESARIO VER COMO SE COMPORTAN LOS AISLAMIENTOS AL SUFRIR LA ACCION DE CADA UNA DE ELLAS. - DADO QUE LAS DESCARGAS ELECTRICAS EN LA NATURALEZA SON PODEROSAS Y ESPECTACULARES, HA SIDO NECESARIO DISEÑAR UN EQUIPO EFECTIVO DE LABORATORIO CAPAZ DE DUPLICARLAS - DESCARGANDO MILES DE VOLTS Y AMPERES A TRAVES DE LOS DISPOSITIVOS CUYO AISLAMIENTO SE DESEA VERIFICAR. EL APARATO DISEÑADO PARA ELLO TOMA FORMA EN EL GENERADOR DE - IMPULSOS. EL USO DE ESTE GENERADOR PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS DESCARGAS ELECTRICAS DE LABORATORIO Y OBTENER LAS CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LOS AISLAMIENTOS HA SIDO DE UN INMENSO VALOR PARA LA CALIDAD EN EL DISEÑO DE LOS TRANSFORMADORES.

CARACTERISTICAS VOLTAJE-TIEMPO.- EN LOS PRIMEROS AÑOS DE LAS - - PRUEBAS A TRANSFORMADORES, LOS UNICOS ENSAYOS PARA LA PRUEBA DE SUS AISLAMIENTOS - SE REDUCIAN A SOMETER DICHOS AISLAMIENTOS A TIMIDOS SOBRE-VOLTAJES DURANTE ALGUNOS MINUTOS. SI EL AISLAMIENTO SOPORTABA LA PRUEBA EL TRANSFORMADOR SE CONSIDERABA - ADECUADO PARA EL SERVICIO. OCASIONALMENTE ALGUNOS APARATOS SUFRIAN FALLAS. ESTU DIOS POSTERIORES DETERMINARON QUE LOS AISLAMIENTOS TIENEN UNA CARACTERISTICA VOLTA JE-TIEMPO, POR LO CUAL SU COMPORTAMIENTO A SOBRE-VOLTAJES PROLONGADOS OCASIONABA A VECES DAÑOS IMPORTANTES.

EL USO DEL GENERADOR DE IMPULSOS FACILITO LA DETERMINACION DE LAS CARACTE - RISTICAS DE LOS AISLAMIENTOS Y VARIOS METODOS FUERON ENSAYADOS SIENDO LOS DOS SI - - GUIENTES LOS PRINCIPALES:

METODO 1.- SE REQUIERE UN TIEMPO DETERMINADO PARA CAUSAR UNA DESCARGA - DISRUPTIVA EN UN ELECTRODO O EN LOS AISLAMIENTOS; MIENTRAS MAS ALTO SEA EL VOLTAJE, MAS CORTO SERA EL TIEMPO NECESARIO PARA CAUSAR EL SALTO DE UN ARCO ELECTRICO EN EL ENTRENHERRO. POR LO TANTO, CUANDO A UNOS ELECTRODOS SEPARADOS UNA CIERTA DISTANCIA (CONTENIENDO ENTRE ELLOS EL AISLAMIENTO) SE LES APLICA UNA ONDA DE 1.5×40 LO SUFI CIENTEMENTE ALTA PARA PROVOCAR EL FLAMEO, EL PUNTO EN EL QUE ESTE TOMA LUGAR SE DE FINE PERFECTAMENTE EN LA COLA DE LA ONDA (FIG. 4,3 ONDA 2).

SI EL VOLTAJE ES LUEGO INCREMENTADO, EL FLAMEO SE PRESENTARA EN UN PUNTO - MAS CERCAÑO A LA CRESTA (ONDA 3). A MEDIDA QUE EL VOLTAJE VAYA POSTERIORMENTE - - AUMENTANDOSE, EL VALOR DEL VOLTAJE DISRUPTIVO SE INCREMENTARA PROGRESIVAMENTE. -

EVENTUALMENTE EL FLAMEO OCURRIRA EN EL FRENTE DE LA ONDA. LA CURVA TRAZADA A TRAVES DE LOS PUNTOS DE FLAMEO DETERMINADOS POR EL TIEMPO EN QUE ESTE OCURRE Y LOS - KILOVOLTS CORRESPONDIENTES A LA AMPLITUD DE LA CRESTA DE CADA ONDA (NO LOS KILOVOLTS AL INSTANTE DE FLAMEO EN LA COLA DE LA ONDA) ES LA BUSCADA CURVA CARACTERISTICA DE

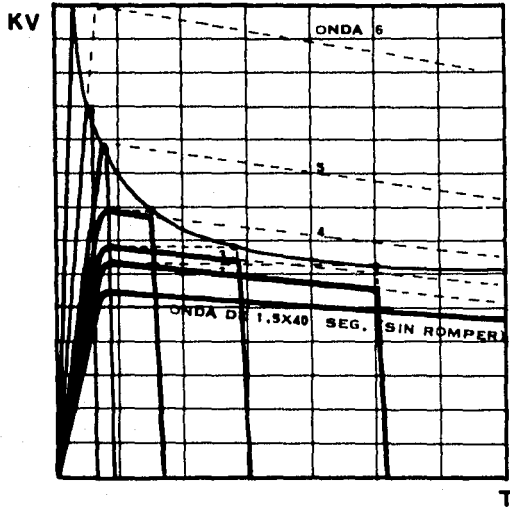


FIG. 4.3 CURVA VOLTAJE - TIEMPO. METODO 1.

VOLTAJE-TIEMPO A LOS IMPULSOS ENTRE ELECTRODOS TENIENDO COMO MEDIO AISLANTE EL - ESPACIO VACIO ENTRE ELLOS.

METODO 2.- OTRO METODO USADO EVENTUALMENTE PARA OBTENER LAS CARACTERISTICAS VOLTAJE-TIEMPO ES VARIANDO LA PENDIENTE DE ONDAS Y APLICANDO SOBRE-VOLTAJES-SUFICIENTES EN CADA CASO PARA PROVOCAR EL FLAMEO DE LOS ELECTRODOS CUANDO LA ONDA AUN NO ALCANZA SU VALOR DE CRESTA. A MEDIDA QUE LA ONDA SE VA EMPINANDO, LA AMPLITUD EN QUE EL FLAMEO OCURRE SE INCREMENTA. UNA CURVA TRAZADA A TRAVES DE LOS PUNTOS DE SALTO EN KV, DE CRESTA CONTRA TIEMPO REPRESENTA LA CURVA VOLTAJE-TIEMPO. LA DIFERENCIA PRINCIPAL EN LAS DOS CURVAS DE VOLTAJE-TIEMPO ES QUE LOS VALORES DE - KILOVOLTS OBTENIDOS POR EL METODO DE "FRENTE DE ONDA", EN LA REGION MEDIA DE LA -- CURVA, SON LIGERAMENTE MAYORES QUE LOS KILOVOLTS OBTENIDOS POR EL METODO DE ONDAS COMPLETAS. PARA ONDAS DE FRENTE MUY ESCARPADOS AMBOS METODOS SON SIMILARES Y

DAN LOS MISMOS VALORES DE KV. LA DIFERENCIA APROXIMADA PUEDE APRECIARSE COMPARANDO LAS DOS CURVAS DE LA FIG. 5.3.

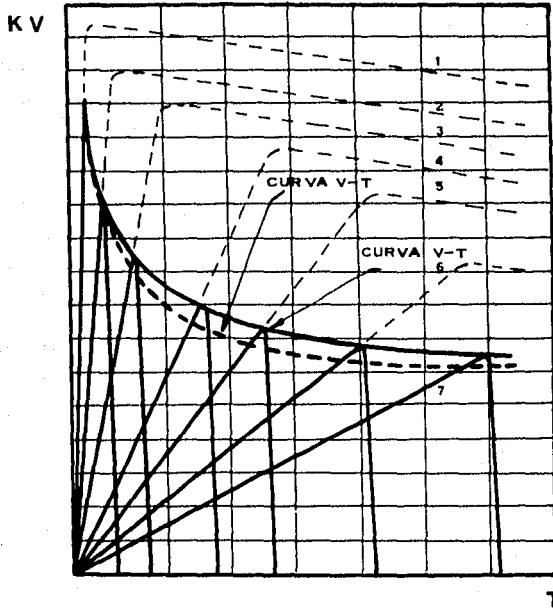


FIG. 5.3 CURVA VOLTAJE - TIEMPO, METODO 2.

CARACTERISTICAS DEL AISLAMIENTO INTERNO.- EL NIVEL DE AISLAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR PUEDE SER DETERMINADO POR EL VOLTAJE DISRUPTIVO DEL AISLAMIENTO PRINCIPAL INTERNO (AISLAMIENTO A TIERRA), EL VOLTAJE DISRUPTIVO DEL AISLAMIENTO MINIMO (AISLAMIENTO ENTRE VUELTAS Y BOBINAS), O EL VOLTAJE DE SALTODE LAS BOQUILLAS O UNA COMBINACION DE ESTOS.

LA CARACTERISTICA DE IMPULSO DEL AISLAMIENTO INTERNO EN UN TRANSFORMADOR - DIFIERE DE LA CARACTERISTICA DE LOS AISLAMIENTOS CUYO FLAMEO SE EFECTUA A TRAVES DEL AIRE EN 3 ASPECTOS PRINCIPALES QUE SON LOS SIGUIENTES:

1.- PERFIL DE LA CURVA.

2.- LA RELACION DE IMPULSO DE LOS AISLAMIENTOS.

3.- EL TIEMPO MAXIMO PARA ENVIAR A TIERRA UNA ONDA COMPLETA.

PRIMER CASO.- EL PERFIL DE LA CURVA VOLTAJE-TIEMPO DEL AISLAMIENTO SOLIDO ES BASTANTE MAS PLANA COMPARADA CON LA CURVA VOLTAJE-TIEMPO DE UN ENTREHIERRO.

SEGUNDO CASO.- LA RELACION DE IMPULSO (RELACION DEL VOLTAJE DISRUPTIVO MINIMO EN IMPULSO AL VOLTAJE DISRUPTIVO EN LOS "PICOS" DE ONDAS DE BAJA FRECUENCIA A 60 CICLOS) ES ALTA, SIENDO DE 2.1 A 2.2 PARA EL AISLAMIENTO, MIENTRAS QUE PARA BOQUILLAS Y AISLADOPES, ES DE 1.5 O MENOS. LOGICAMENTE, LA RELACION DE IMPULSO DEBERIA BASARSE EN LA RESISTENCIA INSTANTANEA DEL AISLAMIENTO A LOS 60 CICLOS, PERO ESTO NO ES POSIBLE, TOMANDO EN CUENTA LAS DIFICULTADES DE OBTENER VALORES REALES DE VOLTAJES DISRUPTIVOS DE BAJA FRECUENCIA PARA TIEMPOS MENORES DE 1 MINUTO, ESPECIALMENTE SI LAS MUESTRAS O PROBETAS EN PRUEBA SON COSTOSAS EN LAS QUE UNA CURVA VOLTAJE-TIEMPO NO ES PRACTICABLE.

TERCER CASO.- EL AISLAMIENTO SOLIDO TIENE LA CARACTERISTICA PECULIAR DE QUE SU PUNTO DE RUPTURA SIEMPRE OCURRE BASTANTE MAS CERCA DE LA CRESTA DE LA ONDA; ESTO ES, QUE PARA UNA ONDA DE 1.5 x 40 MICROSEGUNDOS APLICADA, EL TIEMPO EN QUE -- OCURRE LA CAIDA A TIERRA DEL VOLTAJE, FRISA ENTRE 2 Y 3 MICROSEGUNDOS, MIENTRAS QUE EN EL CASO DE UN AISLADOR O UNA BOQUILLA CON CUERNOS DE ARQUEO, OCURRE ENTRE LOS 8 Y 10 MICROSEGUNDOS. POR LO TANTO PUEDE CONCLUIRSE QUE LOS DOS FACTORES A CONTROLAR LA TENSION DISRUPTIVA DE LOS AISLAMIENTOS AL APLICARSELES ONDAS DE IMPULSO SON, EL GRADO DE AUMENTO DEL FRENTE DE LA ONDA EN KV / SEG. Y LA AMPLITUD DE LA ONDA.

ESFUERZOS EN LOS DEVANADOS.- LOS ESFUERZOS ELECTRICOS EN UN TRANSFORMADOR EN SERVICIO SON CAUSADOS POR VOLTAJES DINAMICOS CONTINUOS, SOBRE-VOLTAJES DINAMICOS DE CORTO TIEMPO Y PRINCIPALMENTE POR LOS VOLTAJES DE IMPULSO DEBIDOS A LAS DESCARGAS DE LOS RAYOS. DE AQUI LA IMPORTANCIA DE DETERMINAR LA DISTRIBUCION DEL VOLTAJE DE IMPULSO A TRAVES DE LOS DEVANADOS DEL TRANSFORMADOR.

LA DISTRIBUCION DE VOLTAJE ESTA DETERMINADA POR LAS CONSTANTES DEL DEVANADO -CAPACITANCIAS, INDUCTANCIAS Y RESISTENCIAS- LAS CUALES DEPENDEN DEL DISEÑO. LA RESISTENCIA, DEPENDE POR SUPUESTO, DEL AREA Y DE LA LONGITUD DE LOS CONDUCTORES. LA CAPACITANCIA Y LA INDUCTANCIA ESTA DETERMINADA POR EL CALIBRE Y LA LONGITUD, NUMERO DE VUELTAS Y LA RELACION FISICA DE CADA CONDUCTOR A OTROS CONDUCTORES Y TIERRA. ESTAS RELACIONES PUEDEN SER REPRESENTADAS, TAL Y COMO APARECEN EN LAS FIGS. 6.3 Y 7.3 Y EL CIRCUITO EQUIVALENTE DE AMBOS TIPOS DE TRANSFORMADORES PUEDE SER REPRESENTADO POR LA MALLA DE CAPACITANCIAS E INDUCTANCIAS DE LA FIG. 8.3.

A MEDIDA QUE EL FRENTE DE UNA ONDA APLICADA, SE APROXIMA AL TRANSFORMADOR,

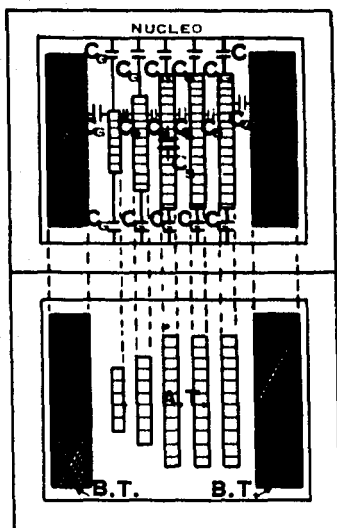
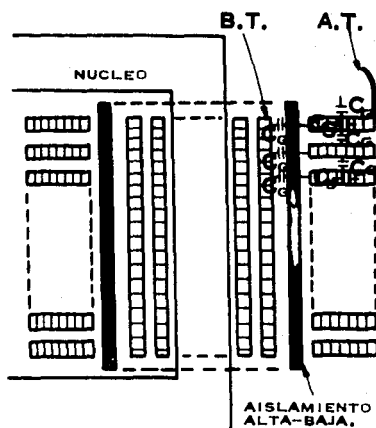


Fig. 6.3

FIG. 6.3 PLANTA DE UN TRANSFORMADOR TIPO ACORAZADO. DISPOSICION DE BOBINAS Y CAPACITANCIAS PROPIAS.



C_G - CAPACITANCIA A TIERRA.
 C - CAPACITANCIA A TRAVES DEL DEVANADO

Fig. 7.3

FIG. 7.3 ELEVACION DE UN TRANSFORMADOR TIPO NUCLEO.

EL EFECTO DE ESTA A UN TIEMPO T , (UNA MUY PEQUEÑA FRACCION DE MICROSEGUNDO) ES CARGAR LA MALLA DE CAPACITANCIAS SUMAMENTE RAPIDO CAUSANDO UNA DISTRIBUCION INICIAL - DEL VOLTAJE A TRAVES DE TODO EL DEVANADO. DEBIDO A QUE NO SE ESTABLECE NINGUNA - - CORRIENTE Y QUE ESTAS PUEDEN CONSIDERARSE EN CIRCUITO ABIERTO.

LA DISTRIBUCION INICIAL DEL VOLTAJE (CURVA B DE LA FIG. 9.3), ES DIFERENTE A LA DISTRIBUCION QUE SE PRODUCE CUANDO A UN DEVANADO SE LE APLICA VOLTAJE Y FRECUENCIA - NOMINAL CON EL NEUTRO DEL DEVANADO ATERRIZADO (CURVA A). DE LA MISMA FIGURA ES EVIDENTE QUE LA PRESENCIA DE LAS CAPACITANCIAS A TIERRA CAUSA UNA DISTRIBUCION DEL VOLTAJE NO UNIFORME PUES LA ECUACION DE DISTRIBUCION DE VOLTAJE DE UN DEVANADO CON EL - NEUTRO A TIERRA ES:

$$e_x = \frac{\text{SEN } H \omega x}{\text{SEN } H} E$$

EN LA QUE α ES LA CONSTANTE HIPERBOLICA Y ES IGUAL A: $\alpha = \sqrt{C_G/C_S}$

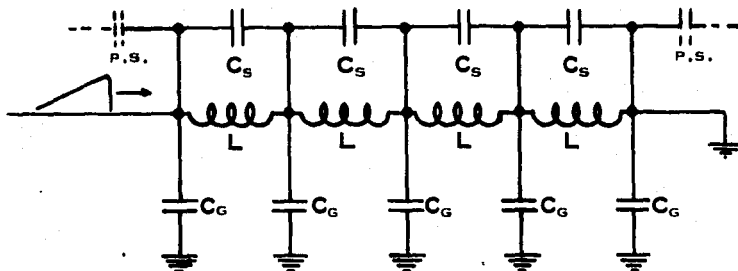


FIG. 8.3 CIRCUITO SIMPLIFICADO DE LAS CAPACITANCIAS E INDUCTANCIAS EN LOS DEVANADOS.

MIENTRAS MAS GRANDE SEA EL VALOR DE α , MAS GRANDE ES LA CONCENTRACION DE VOLTAJE AL FINAL DEL DEVANADO. ASI QUE SOLAMENTE CON LA DESAPARICION DE LAS CAPACITANCIAS A TIERRA PODRIA OBTENERSE UN VOLTAJE UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDO. DE LA ECUACION ANTERIOR, TENEMOS QUE:

x = DISTANCIA FRACCIONARIA A LO LARGO DEL DEVANADO.

E_x = VOLTAJE A TIERRA EN EL PUNTO x ;

C_G = CAPACITANCIA MEDIDA DEL DEVANADO A TIERRA.

C_S = CAPACITANCIA INTERNA MEDIDA DE LA TERMINAL LIBRE A LA TERMINAL ATERRIZADA DEL NEUTRO.

E = VOLTAJE APLICADO DE LA TERMINAL DEL DEVANADO A TIERRA.

EN EL CASO PARTICULAR DE LA CURVA B, ES EVIDENTE QUE EL 75% DEL VOLTAJE APLICADO SE REGISTRA EN EL PRIMER CUARTO DE LA LONGITUD DE LA BOBINA PRODUCIENDO UN ESFUERZO BASTANTE ELEVADO EN ESTE TRAMO, Y UN ESFUERZO RELATIVAMENTE PEQUEÑO EN LAS 3/4 PARTES RESTANTE. A MEDIDA QUE LA RAZON DE AUMENTO DEL VOLTAJE SE INCREMENTA, EL ARQUEO DE LA CURVA B SERA MAS PRONUNCIADO ($\alpha > \alpha_0$) COMO SE MUESTRA EN LA CURVA C, CAUSANDO TODAVIA MAYORES ESFUERZOS EN LA PRIMERA CUARTA PARTE DEL DEVANADO.

LA ANTERIOR DISTRIBUCION DEL VOLTAJE NO PUEDE PERSISTIR INDEFINIDAMENTE. DESPUES DE QUE LA CRESTA DE LA ONDA ES ALCANZADA, EL PERFIL DE LA ONDA COMPLETA SE ADENTRA EN EL DEVANADO. EN ESTOS MOMENTOS, LA MALLA DE INDUCTANCIAS PRODUCIRA SU FICIENTE CORRIENTE PARA ESTABLECER UNA DISTRIBUCION MAGNETICA UNIFORME QUE COINCIDIRA CON LA CURVA A. DE ESTA MANERA, LA DIFERENCIA DE POTENCIAL DE LA MALLA CAPACITIVA PRODUCIRA UN VOLTAJE TRANSITORIO Y SE DESCARGARA A TRAVES DE LA MALLA INDUCTIVA. ESTA A SU VEZ, VOLVERA A CARGAR LAS CAPACITANCIAS QUE NUEVAMENTE SE DESCARGAN. ASI, LA ENERGIA SE ALMACENA PRIMERO EN EL CAMPO ELECTROESTATICO DE LOS CAPACITORES Y LUEGO EN EL CAMPO MAGNETICO DEL DEVANADO. LA ENERGIA CAMBIA RAPIDAMENTE DE UN CAMPO A OTRO PRODUCIENDOSE UNA SERIE DE OSCILACIONES ENTRE LAS REDES CAPACITIVA E

INDUCTIVA, EN OTRAS PALABRAS, DESDE QUE LA DISTRIBUCION INICIAL ES LA CURVA B DE LA FIG. 9.3 Y LA FINAL DEBIDA A LA PRESENCIA DE LA COLA DE LA ONDA, ES A, LA CURVA B TRATA DE APROXIMARSE A LA RECTA A, PERO DEBIDO A QUE SE ESTABLECE UN CIRCUITO INDUCTIVO-CAPACITIVO, SE DESARROLLAN OSCILACIONES CAUSANDO QUE B SOBREPASE LA RECTA A, -

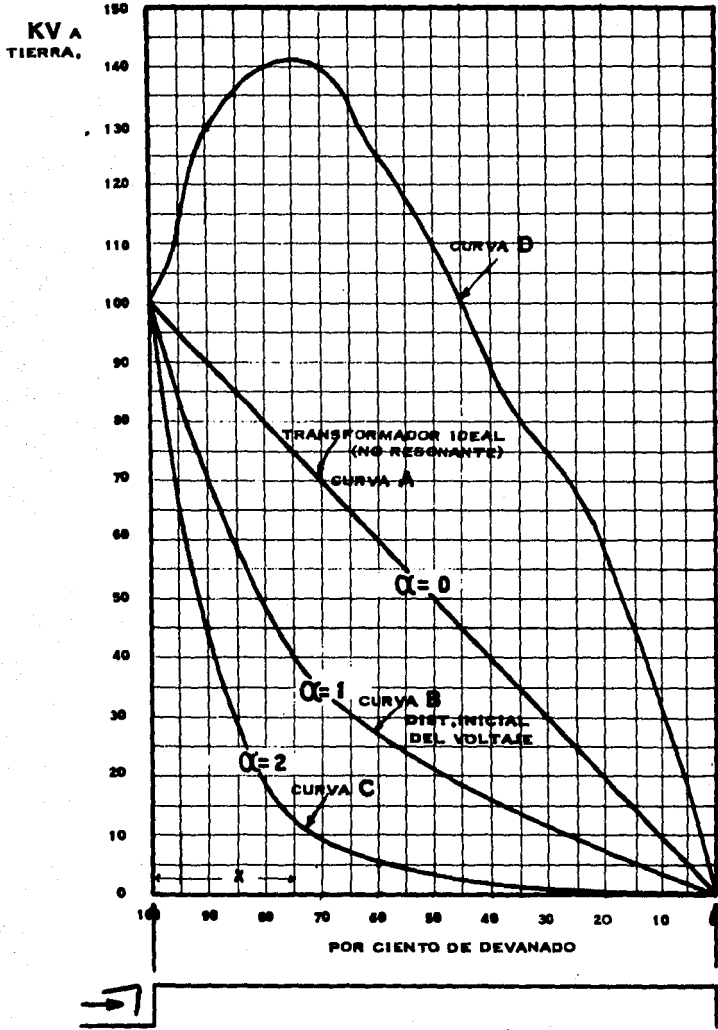


Fig. 9.3 CURVAS DE DISTRIBUCION DE VOLTAJE.

BIENDO POSIBLE QUE EN OCASIONES B OSCILE ARRIBA DE A BASTANTE MAS DE LO QUE OSCILA ABAJO DE ESTA. LA CURVA D REPRESENTA ESTE CASO.

ANALIZANDO LA CURVA D, PUEDE CONCLUIRSE QUE EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE SE PRESENTEN OSCILACIONES EN EL INTERIOR DEL DEVANADO QUE APLIQUEN VOLTAJES A TIERRA - MUCHO MAYORES QUE EL VOLTAJE QUE ES APLICADO A LAS TERMINALES.

LA RAPIDEZ CON QUE LA CURVA OSCILE DE B A D DEPENDE DEL PERIODO DEL DEVANADO EL CUAL ES FUNCION DE LAS CONSTANTES DEL TRANSFORMADOR.

LOS GRADIENTES DE POTENCIAL EN LOS TRANSFORMADORES SE HAN LOGRADO REDUCIR AL HACERSE MAS CONOCIDA LA DISTRIBUCION DE VOLTAJES. ALGUNOS DE LOS ADELANTOS VAN ACOMPARADOS POR DISPOSICIONES O ARREGLOS USADOS EN LOS DEVANADOS QUE RESULTAN EN UNA DISTRIBUCION MAS UNIFORME DEL VOLTAJE A LO LARGO DE LA BOBINA, Y OTRAS POR EL - DESARROLLO DE LOS MEDIOS PARA CONTROLAR EL CAMPO DIELECTRICO Y ASI EVITAR GRADIENTES DE POTENCIAL EXCESIVOS.

LA PRUEBA DE IMPULSOS HA LLEVADO A UN MEJOR ENTENDIMIENTO DE LAS REACCIONES DE LOS DEVANADOS A LOS IMPULSOS Y DE ESTA MANERA A UN PROVECHOSO ADELANTO EN LA UNIFORMIZACION DE VOLTAJES. BASICAMENTE, PARA LOGRAR UNA MAYOR UNIFORMIZACION DE VOLTAJES EN LAS BOBINAS DE UN TRANSFORMADOR, ES COSA DE INCREMENTAR LA CAPACITANCIA A TRAVES DE LAS BOBINAS (C_s) O DECRECER LA CAPACITANCIA A TIERRA (C_g) CON LO QUE LA - CONSTANTE HIPERBOLICA (cl) DISMINUIRA, UNIFORMIZANDO LA DISTRIBUCION DE VOLTAJES.

LA DISTRIBUCION EN DEVANADOS DE TIPO ACORAZADO, QUE YA DE POR SI PUEDE CONSIDERARSE BUENA, SE HA MEJORADO CON EL USO DE PLACAS ESTATICAS Y CONDUCTORES GRUESOS PRINCIPALMENTE. EN LOS TRANSFORMADORES DE TIPO DE COLUMNAS, EL USO DE PLACAS ESTATICAS, ANILLOS ESTATICOS, O REARREGLANDO Y PROPORCIONANDO LAS BOBINAS RESULTA TAMBIEN EN UNA MEJORIA NOTABLE EN LA DISTRIBUCION DE VOLTAJES. ESTAS MEDIDAS DISMINUYEN LA CONCENTRACION DEL VOLTAJE ENTRE VUELTAS, CAPAS, Y PRINCIPALMENTE EN LAS SECCIONES CERCANAS EN AMBAS TERMINALES DE LAS BOBINAS. TAMBIEN REDUCEN LOS ESFUERZOS - ELECTRICOS PRODUCIDOS POR LAS OSCILACIONES EN EL INTERIOR DE ESTAS.

DE LO VISTO ANTERIORMENTE ES POSIBLE COMPRENDER COMO EL DEVANADO DE UN - - TRANSFORMADOR OSCILA CON RESPECTO AL TIEMPO.

OTRA CONSIDERACION IMPORTANTE QUE DEBE SER ESTUDIADA ES LA REACCION DEL DEVANADO A LAS ONDAS CORTADAS. SI EL VOLTAJE QUE ES APLICADO EN LA LINEA TERMINAL ES HECHO CAER A TIERRA SUMAMENTE RAPIDO ES POSIBLE LO HAGA ESTANDOSE PRODUCIENDO LA - OSCILACION MAXIMA. ESTO TRAE COMO CONSECUENCIA ESFUERZOS MUCHO MUY GRANDES. ENTRE VUELTAS Y ENTRE ESPIRAS DE LOS DEVANADOS. PARA AYUDAR A DISMINUIR ESTOS ESFUERZOS, SE UTILIZAN LAS PLACAS ESTATICAS.

LAS ONDAS DE FRENTE ESCARPADO PRODUCEN LOS MISMOS EFECTOS QUE LAS ONDAS -

CORTADAS, EXCEPTO QUE LAS PRIMERAS CAUSAN ESFUERZOS TODAVIA MAYORES.

ESTA SECCION DEL PRESENTE CAPITULO, HA INTENTADO DAR UNA BREVE EXPLICACION DEL MECANISMO DE LAS OSCILACIONES Y ESFUERZOS EN UN TRANSFORMADOR Y ADEMAS TRATA DE JUSTIFICAR EL USO DE LAS PRUEBAS DE IMPULSO Y COMO ESTAS CAUSAN DIFERENTES ESFUERZOS EN LAS BOBINAS QUE LAS PRUEBAS DE AISLAMIENTO A BAJAS FRECUENCIAS.

EVOLUCION DE LAS PRUEBAS DE IMPULSO.- CON LAS CARACTERISTICAS DE IMPULSO DE LOS MATERIALES USADOS EN LOS TRANSFORMADORES, CONOCIDAS, SE PROCEDIO A INVESTIGAR EL COMPORTAMIENTO DE DICHO MATERIALES EN MODELOS DE TRANSFORMADORES COMPLETAMENTE ACABADOS.

LAS PRUEBAS DE IMPULSO EFECTUADAS A LOS TRANSFORMADORES, SE INICIARON EN 1931 DE ACUERDO CON LAS RECOMENDACIONES FORMULADAS POR EL SUBCOMITE DE TRANSFORMADORES DE LA AIEE ELECTRICAL MACHINERY COMITEE Y SE HAN SEGUIDO APLICANDO CON CRECIENTE ACTIVIDAD DESDE QUE LA PRIMERA UNIDAD FUE PROBADA. EQUIPO Y TECNICA DEL LABORATORIO DE IMPULSOS HA CAMBIADO COMPLETAMENTE DESDE ENTONCES. EL EQUIPO HA SIDO MEJORADO, SIMPLIFICADO Y HECHO PARA USARSE CON SEGURIDAD Y ADAPTABILIDAD. LA TECNICA HA SIDO CAMBIADA VARIAS VECES, SIEMPRE APUNTANDO A UNA MAYOR SIMPLIFICACION Y MAS FACIL CONTROL DE OPERACION.

EL DISEÑO DE TRANSFORMADORES HA SUFRIDO CONSTANTES CAMBIOS ORIGINADOS POR LA PRUEBA DE IMPULSO OBTENIENDOSE ASI MEJORES TRANSFORMADORES. SIN EMBARGO DESDE 1939, EL DISEÑO SE HA ESTABILIZADO, LOS PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE LOS AISLAMIENTOS HAN SIDO MEJOR ESTUDIADOS Y PUEDE DECIRSE QUE EL DISEÑO DE LOS TRANSFORMADORES MODERNOS DATA DE ESTA FECHA. LA RESISTENCIA DE IMPULSO DE LOS TRANSFORMADORES SE HA INCREMENTADO EN 55% DESDE 1931. LO QUE ES UN BUEN INDICIO DE ADELANTO EN EL DISEÑO.

LAS PRIMERAS PRUEBAS A SER APLICADAS EN EL LABORATORIO SE BASARON EN LA SUPOSICION DE QUE LAS BOQUILLAS DE LOS TRANSFORMADORES ACTUABAN COMO UN DISPOSITIVO - ACOPLADO AL MISMO. CONSECUENTEMENTE SE DENOMINO, EL NUMERO DE ONDAS DE IMPULSO - CONVENIENTES, CON AMPLITUDES DEBAJO DE LOS PUNTOS DE FLAMEO DE LOS CUERNOS DE ARQUEO DE LA BOQUILLA, Y EL NUMERO DE ONDAS DE IMPULSO DE SUFICIENTE MAGNITUD PARA EFECTUAR EL FLAMEO POR AIRE DE DICHA BOQUILLA. POSTERIORMENTE LOS CUERNOS DE ARQUEO FUERON CAMBIADOS, PARA MEJOR ADAPTABILIDAD DEL EQUIPO DEL LABORATORIO, POR BARRAS DE COBRE ESTANDARIZADAS DE SECCION CUADRADA QUE PUEDEN DUPLICARSE FACILMENTE EN EL LABORATORIO. SEGUN LOS REQUERIMIENTOS DEL CASO.

ACTUALMENTE LAS PRUEBAS DE IMPULSO NO SE BASAN EN LA REPARACION DE ELECTRODOS SINO QUE SE DAN EN TERMINO DEL VOLTAJE DE CRESTA DE LAS ONDAS DE IMPULSO, SIN EMBARGO, ESTOS VOLTAJES SE OBTUVIERON A PARTIR DE LAS CARACTERISTICAS DISRUPTIVAS DE LOS PREVIAMENTE ESTANDARIZADOS ELECTRODOS.

POSTERIORES EXPERIENCIAS DEMOSTRARON QUE LOS CUERNOS DE ARQUEO DE LAS BOQUILLAS ACOPLADAS A LOS TRANSFORMADORES, NO PROTEGEN EN UNA FORMA DEFINITIVA, LOS AISLAMIENTOS DE ESTOS CONTRA LOS EFECTOS DE ALGUNAS ONDAS DE IMPULSO. LAS FIGS.- 10,3 Y 11,3 MUESTRAN LAS AREAS DE FLAMEO VOLTAJE-TIEMPO TÍPICAS PARA BOQUILLAS CON CUERNOS DE ARQUEO SEPARADOS 71 Y 69 CMS. RESPECTIVAMENTE. ES EVIDENTE QUE AL SER LAS AREAS DE FLAMEO TAN AMPLIAS, EN OCASIONES PUEDAN PASAR ONDAS COMPLETAS O CORTADAS DE ELEVADA MAGNITUD PARA LAS CUALES LA RESISTENCIA DIELECTRICA DEL AISLAMIENTO ES INSUFICIENTE Y LLEGUEN A PRESENTARSE FALLAS, SIN EMBARGO, SE PUEDE ASEGURAR QUE UNA ONDA DE FRENTE MUY ESCARPAO PROVOQUE EL FLAMEO DE LOS CUERNOS, YA QUE LAS CURVAS QUE LIMITAN LAS AREAS VOLTAJE-TIEMPO EN SU PARTE SUPERIOR ES DE UN NIVEL DE IMPULSO MAS BAJO. POR LO TANTO, PARA PROBAR QUE EL TRANSFORMADOR PUEDE SER PROTEGIDO POR DICHS DISPOSITIVOS CONTRA ONDAS DE FRENTE ESCARPAO, SE ACORDO AMPLIAR LA PRUEBA DE IMPULSOS, SUJETANDO AL TRANSFORMADOR A ESTE TIPO DE ONDAS (NEMA), REQUIRIENDOSE QUE SE PROVOQUE EL FLAMEO DE LAS BOQUILLAS, TENIENDO SUS CUERNOS DE ARQUEO UNA SEPARACION ESPECIFICADA, AL APLICAR UNA ONDA CUYA RAZON DE AUMENTO SEA DE 1000 KV, POR MICROSEGUNDO.

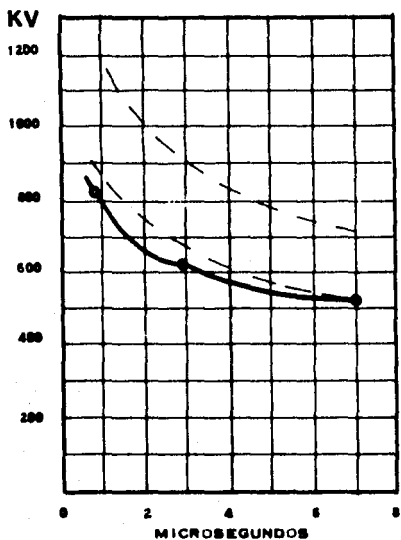


Fig. 10,3

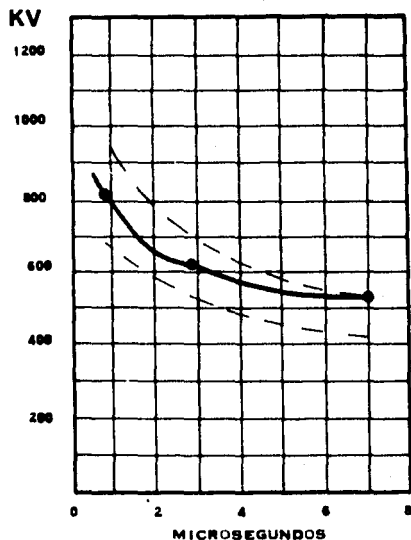


Fig. 11,3

SELECCION DE LAS ONDAS DE IMPULSO.- EL OBJETIVO PRINCIPAL DE TODO FABRICANTE DE TRANSFORMADORES HA SIDO SIMPLIFICAR LAS PRUEBAS DE IMPULSO LO SUFI--

CIENTE PARA HACER POSIBLE EL PROBAR ESENCIALMENTE TODAS LAS UNIDADES SIN DESCUIDAR QUE LA SEVERIDAD DE LA PRUEBA SEA COMPARABLE CON LAS ESPECIFICADAS EN LAS NORMAS. ESTE OBJETIVO VIENE ACOMPAÑADO POR UNA APROPIADA SELECCION DE LAS ONDAS QUE DEBEN APLICARSE, DEL PROCEDIMIENTO A SEGUIR Y DE LAS TOLERANCIAS PERMISIBLES. EL PROCEDIMIENTO CONSISTE EN LA APLICACION DE DOS ONDAS CORTADAS Y DE DOS ONDAS COMPLETAS, - (1,5 x 40 MICROSEGUNDOS) EN CADA TERMINAL CON EL TRANSFORMADOR SIN EXCITAR. (EN OCASIONES ES NECESARIO EXCITAR UN TRANSFORMADOR A VOLTAJE Y FRECUENCIA NORMAL CON EL FIN DE INVESTIGAR POSIBLES CAUSAS DE DISTURBIO Y DETERMINAR SI LA FALLA ES EN EL TRANSFORMADOR O EN EL CIRCUITO EXTERNO). LAS PRUEBAS ANTERIORES SON DE ACUERDO - CON LOS NIVELES ESTANDARIZADOS POR ASA Y TIENEN TOLERANCIAS DE $\pm 5\%$. COMO YA - HEMOS VISTO LAS PRUEBAS DE ONDA COMPLETA Y ONDA CORTADA SIMULAN LAS DOS CONDICIONES BASICAS DE SERVICIO, DE TAL MANERA REPRESENTADAS POR RAYOS QUE FLAMEAN Y RAYOS QUE NO LO HACEN. DESIDO A QUE LAS ONDAS CORTADAS PRODUCEN RAPIDOS CAMBIOS DE POTENCIAL, VERIFICAN LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO EN LA ZONA TERMINAL DEL DEVANADO. LAS ONDAS COMPLETAS PERMITEN EL TIEMPO NECESARIO PARA QUE SE EFECTUEN TODAS LAS OSCILACIONES POSIBLES Y FACILITAN UNA CERTIFICACION DEL COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO A TRAVES DEL DEVANADO COMPLETO; EL HABERSE ESTADO REALIZANDO LAS PRUEBAS DESDE HACI TIEMPO, SEGUN LAS NORMAS ASA LAS HACE ENTERAMENTE FACTIBLES Y SATISFACEN COMPLETAMENTE LOS PROPOSITOS.

EL ORDEN EN QUE SE APLICAN LAS ONDAS ES EL SIGUIENTE:

- 1.- ONDA REDUCIDA DE 1,5 x 40 MICROSEGUNDOS; CON UN VALOR DE UN 50 A UN 70% DEL VALOR DE LA ONDA COMPLETA.
- 2.- DOS ONDAS CORTADAS; APLICACION DE DOS ONDAS DE VOLTAJE DE 1,5 x 40 MICROSEGUNDOS, ENVIADAS A TIERRA DESPUES DE ALCANZAR LA CRESTA DE LA ONDA.
- 3.- ONDA COMPLETA DE 1,5 x 40 MICROSEGUNDOS.

POR ULTIMO LAS ONDAS QUE DEBEN APLICARSE AL NEUTRO.

- 4.- ONDA REDUCIDA DE VOLTAJE.
- 5.- DOS ONDAS COMPLETAS DE VOLTAJE.

LOS VALORES DE PRUEBA PARA LAS DIFERENTES CLASIFICACIONES DE VOLTAJE SE MUESTRAN EN LA TABLA I.

LAS NORMAS NEMA AÑADEN A LAS PRUEBAS ANTERIORES LA DE LA ONDA DE FRENTE ESCARPADO.

LAS NORMAS EBASCO VARIAN BASTANTE DE LAS ANTERIORES SIENDO LAS MAS COM-

PRUEBA DE IMPULSOS.

CLASES DE AISLAMIENTO.	ONDA CORTADA.		ONDA COMPLETA.
	KV. CRESTA.	TIEMPO MINIMO DE FLAMEO EN MICROSEGUNDOS.	KV. CRESTA.
1.2	54	1.5	45
2.5	69	1.5	60
5.0	88	1.6	75
8.66	110	1.8	95
15	130	2.0	110
25.0	175	3.0	150
34.5	230	3.0	200
46.0	290	3.0	250
69.0	400	3.0	350
92.0	520	3.0	450
115.0	630	3.0	550
138.0	750	3.0	650
161.0	865	3.0	750
196	1035	3.0	900
230	1210	3.0	1050
287	1500	3.0	1300
345	1785	3.0	1550

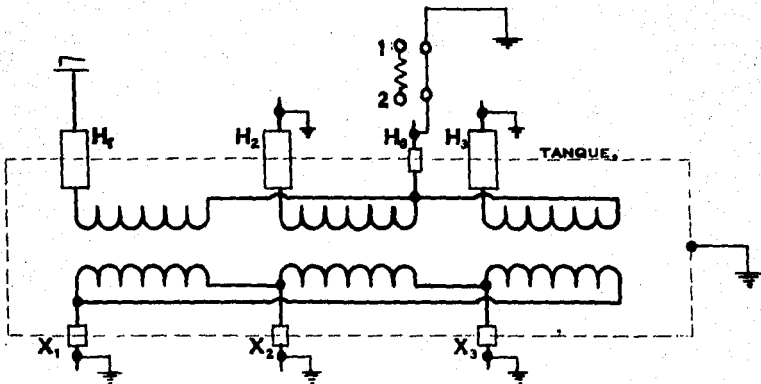
TABLA I

**PRUEBAS DE IMPULSOS EN TRANSFORMADORES -
MAYORES DE 500 KVA SUMERGIDOS EN ACEITE.**

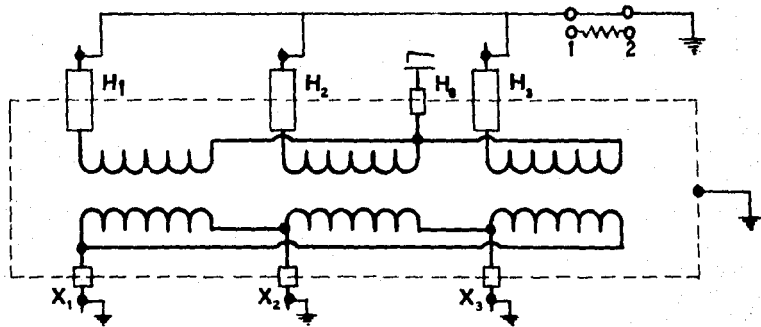
PLETAS PERO PUEDE DECIRSE QUE LAS MENOS COMERCIALES. DICEN LO SIGUIENTE:

LA SECUENCIA QUE DEBEN SEGUIR LAS PRUEBAS DE IMPULSO DEBE SER:

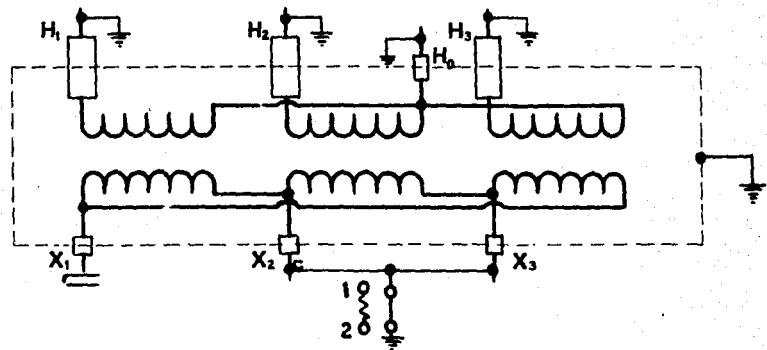
- 1.- ONDA REDUCIDA (MEDIR UNA DE VOLTAJE Y UNA DE CORRIENTE).**
- 2.- TRES ONDAS DE FRENTE OSCARPADO CONSECUTIVAS.**
- 3.- ONDA REDUCIDA (MEDIR UNA DE VOLTAJE Y UNA DE CORRIENTE).**



PRUEBA DE H_1 . TODOS LOS DEMAS ELEMENTOS A TIERRA.



PRUEBA DE H_2 .



PRUEBA DE X_1

FIG. 12.3 CIRCUITOS DE PRUEBA TÍPICOS.

4.- DOS ONDAS CORTADAS SUCESIVAS.

5.- ONDA COMPLETA (MEDIR UNA DE VOLTAJE Y UNA DE CORRIENTE).

PARA LA PRUEBA DE LOS NEUTROS SE REQUIEREN LAS SIGUIENTES APLICACIONES DE ONDAS;

6.- ONDA REDUCIDA (MEDIR UNA DE VOLTAJE Y UNA DE CORRIENTE).

7.- DOS ONDAS COMPLETAS (MEDIR DOS DE VOLTAJE Y DOS DE CORRIENTE).

LOS VALORES PARA LA PRUEBA SIGUIENDO LAS NORMAS EBASCO INC. SON MUY SE MEJANTES A LOS DE LOS OTROS ESTANDARDS POR LO QUE NO VALE LA PENA MENCIONARLOS.

LA FIG. 12,3 MUESTRA LOS CIRCUITOS DE PRUEBA TÍPICOS CON QUE SE SUELE PROBAR LOS TRANSFORMADORES. DICHS TRANSFORMADORES ESTAN SIN EXCITAR EN TODOS LOS CASOS.

DEVANADOS DE BAJA IMPEDANCIA.- Como hemos visto, LAS NORMAS INTENTAN QUE A TODOS LOS TRANSFORMADORES EN LA PRUEBA DE IMPULSO SE LES APLIQUEN ONDAS DE 1,5 x 40 MICROSEGUNDOS, PRIMERO ELEVANDO SUS VOLTAJES DE CRESTA EN 1,5 MICROSEGUNDOS Y SEGUNDO DECRECIENDO AL 50% DE SU VALOR EN 40 MICROSEGUNDOS. TAL LONGITUD DE COLA DE ONDA, NO PUEDE SER MANTENIDA EN TODOS LOS DEVANADOS DE LOS TRANSFORMADORES POR EL GENERADOR DE IMPULSOS Y VALORES DE COLA DE ONDA INFERIOR A LOS 40 MICROSEGUNDOS PRODUCIDOS EN DEVANADOS DE BAJO VOLTAJE, HAN VENIDO A SER FRECUENTEMENTE EXPRESADOS A MEDIDA QUE LAS CAPACIDADES DE LOS TRANSFORMADORES HAN IDO EN AUMENTO. ESTA CONDICION PREVALECE CASI SIEMPRE, AUN DESPUES DE INCREMENTAR VARIAS VECES LA ENERGIA DE SALIDA DEL GENERADOR DE IMPULSOS. MUCHOS TRANSFORMADORES SON PROBADOS CON DURACIONES MAXIMAS DEL 50% DE LA CRESTA, MENORES DE 20 MICROSEGUNDOS, CASO DE LA FIG. 13,3 (COPIA DE UN OSCILOGRAMA) Y EN ALGUNOS OTROS TIEMPOS TAN CORTOS COMO 10 MICROSEGUNDOS. EL ESTUDIO DEL PRESENTE PROBLEMA LLEGA A QUE SE PREGUNTE QUE TAN IMPORTANTE ES TENER UNA COLA DE ONDA DE 40 MICROSEGUNDOS. PARECE EVIDENTE QUE LA CARACTERISTICA NATURAL DEL DEVANADO DEL TRANSFORMADOR QUE TIENDE A PRODUCIR COLAS CORTAS EN LOS DISPAROS DE UN GENERADOR DE IMPULSOS, PRODUCIRA EL MISMO EFECTO CUANDO ESTE SUJETO A SOBRE-VOLTAJES EN LA LINEA DE TRANSMISION ORIGINADOS POR LOS RAYOS. LO CIERTO ES QUE LA MAGNITUD DE LA COLA DEPENDERA SOBRE TODO DE LA CANTIDAD DE ENERGIA TRANSITORIA DISPONIBLE DE LA LINEA DE TRANSMISION COMPARADA CON LA DISPONIBLE DEL GENERADOR DE IMPULSOS. POR LO GENERAL, EL VOLTAJE EN LAS LINEAS DE TRANSMISION ESTA LIMITADO POR LOS PARARRAYOS U OTROS DISPOSITIVOS PROTECTORES CON VALORES DEBAJO DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES. POR LO TANTO, EL VERDADERO FACTOR IMPORTANTE TIENE QUE SER LA CAPACITANCIA EFECTIVA A TIERRA DE LA LINEA DE TRANSMISION. ESTA CAPACITANCIA ES PROPORCIONAL A LA LONGITUD DE LA LINEA, PERO DESPUES DE TODO PUEDE NO SER EFECTIVA DENTRO DEL TIEMPO LIMITE AL VALOR MEDIO EN LA

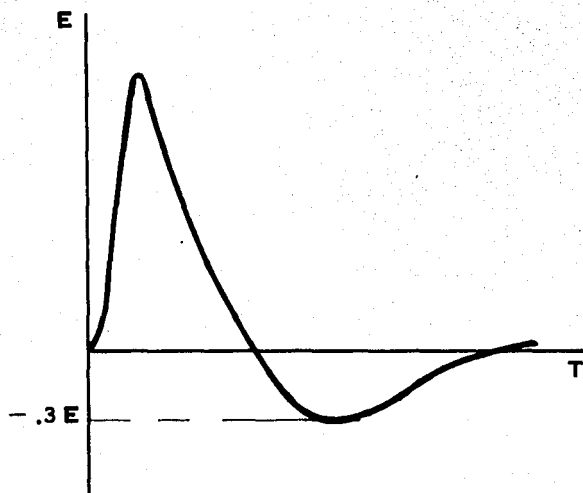


Fig. 13.3 ONDA DE COLA CORTADA.

COLA DE LA ONDA DEBIDO AL EFECTO RETARDADO DE LA INDUCTANCIA DE LA LINEA.

LOS DEVANADOS DE ELEVADOS KVA Y BAJOS VOLTAJES POSEEN CAPACITANCIAS A -- TIERRA, ELEVADAS. ADEMÁS, LAS BOBINAS CONSISTEN TAN SOLO DE UN NUMERO REDUCIDO DE VUELTAS Y POR LO TANTO SU REACTANCIA INDUCTIVA ES PEQUEÑA LA CUAL ESTA EN PARALELO CON UNA REACTANCIA CAPACITIVA SIMILAR. ESTA BAJA IMPEDANCIA PONE UNA CARGA CAPACITIVA CONSIDERABLE EN EL GENERADOR DE IMPULSOS DANDO LUGAR A QUE AL DESCARGAR CONTRA EL DEVANADO SE PRESENTE EL ACORTAMIENTO DE LA COLA.

SEGUN LAS NORMAS A.S.A., SI LAS CLASES DE AISLAMIENTO EN LAS TERMINALES DE LOS DEVANADOS SON IGUALES, SE PUEDE TENDER A ELEVAR LA COLA, CONECTANDO DICHS DEVANADOS ENTRE SI A UN MISMO PUNTO ATERRIZANDO LA TERMINAL LIBRE. SI LAS CLASES DE AISLAMIENTO SON DIFERENTES LA CONEXION NO PUEDE REALIZARSE; EN ESTE CASO, LA SOLUCION ES CONECTAR UNA RESISTENCIA LINEAL DE CUANDO MUCHO 500Ω , ENTRE EL NEUTRO DEL DEVANADO EN PRUEBA Y TIERRA, (VER FIG. 12,3).

CONTROL DE LOS VOLTAJES INDUCIDOS EN TRANSFORMADORES DE DOS O MAS DEVANADOS.- LA MAYORIA DE LOS TRANSFORMADORES PUESTOS EN SERVICIO SON DE DOS Y TRES DEVANADOS. LAS DIVERSAS MANERAS EN QUE PUEDEN CONECTARSE DICHOS DEVANADOS OCASIONAN VOLTAJES INDUCIDOS DIFERENTES SEGUN EL CASO DENTRO DEL TRANSFORMADOR. MUCHAS VECES, AL ESTAR SOMETIENDO UNO DE LOS DEVANADOS A PRUEBAS DE IMPULSOS, NO SE TOMA EN CUENTA LA POSIBILIDAD DE QUE LOS VOLTAJES INDUCIDOS POR ESTE EN LAS DEMAS BOBINAS, SEAN EXCESIVAS PARA SUS NIVELES DE AISLAMIENTO. ADEMÁS, PUEDE OCURRIR QUE SE PRESENTEN FENOMENOS QUE CONTRIBUYAN A CONFUNDIR LA INTERPRETACION DE LOS OSCILOGRAMAS. POR ESTAS RAZONES, LAS NORMAS SUGIEREN QUE LAS TERMINALES QUE NO ESTAN EN PRUEBA SEAN PROTEGIDAS DE TAL MANERA QUE LOS VOLTAJES INDUCIDOS POR DEVANADOS EN PRUEBA SE LIMITEN A ALGO ASI COMO UN 80% DEBAJO DEL VALOR DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DE LAS TERMINALES ESPECIFICADAS. LOS PORCENTAJES CONVENIENTES PARA LA LIMITACION DE ESTOS VOLTAJES ESTAN ENTRE EL 40 Y EL 70%. PARA SIMPLIFICAR MAS LA PRUEBA, SE ACOSTUMBRA CONECTAR A TIERRA TODAS LAS TERMINALES QUE NO ESTEN SUFRIENDO LA ACCION DE LAS ONDAS DE IMPULSO AUNQUE ESTO REPRESENTA EN OCASIONES UN ACORTAMIENTO DE LA COLA QUE SE HACE MENOR DE 40 MICROSEGUNDOS, NO OBSTANTE, EL PROCEDIMIENTO ES LICITO Y ADMITIDO.

CONTROL DE VOLTAJES INDUCIDOS EN AUTOTRANSFORMADORES.- EL FRECUENTE USO DE AUTOTRANSFORMADORES EN LOS ULTIMOS AÑOS HA ENFATIZADO CIERTOS PROBLEMAS.

UNO DE LOS PROBLEMAS, MAS PRONUNCIADOS EN LOS AUTOTRANSFORMADORES QUE EN LOS DE DOS O MAS DEVANADOS, ES EL DE LOS VOLTAJES INDUCIDOS EN EL DEVANADO DE ALTA TENSION CUANDO A LA TERMINAL DE BAJA TENSION DEL AUTO-DEVANADO SE LE ESTA SUMINISTRANDO LA PRUEBA. EN LA MAYORIA DE LOS AUTOTRANSFORMADORES, LA RELACION ENTRE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO DE SUS DEVANADOS Y LA RELACION ENTRE ESPIRAS (RELACION DE TRANSFORMACION) ES TAL QUE AL PROBAR LA BAJA TENSION, EN LA A.T. SE INDUCE UN VOLTAJE QUE SOBREPASA SU NIVEL DE AISLAMIENTO. ESTO SE APRECIA EN EL FLAMEO DE LA BOQUILLA DURANTE LA PRUEBA AL NO HABERSE TOMADO LAS PRECAUCIONES PARA PREVENIRLO. PARA ESTO, LAS NORMAS RECOMIENDAN AL IGUAL QUE EN EL CASO ANTERIOR LIMITAR EL INDUCIDO A UN 80% DEL NIVEL DE PRUEBA Y ESTO SE LOGRA USUALMENTE, CONECTANDO RESISTENCIAS LINEALES ENTRE LA TERMINAL DE ALTA TENSION Y TIERRA. ESTA CONSIDERACION ES APROPIADA SIEMPRE Y CUANDO LA RELACION DE LAS CLASES DE AISLAMIENTO ENTRE LA ALTA Y LA BAJA TENSION SEA MAYOR DE 1.5. EN CASO DE QUE LAS RELACIONES SEAN INFERIORES DE ESTE VALOR, REQUIEREN ESTUDIOS ADICIONALES.

HABIENDO VISTO EL PROBLEMA ANTERIOR, EL SIGUIENTE PASO ES SOLUCIONAR EL TRATAMIENTO QUE SE DEBE DAR A LA TERMINAL DE BAJA TENSION CUANDO SE PRUEBA LA TERMINAL DE ALTA. RARA VEZ SE PRESENTA LA NECESIDAD DE PROTEGER LA TERMINAL CONTRA FLAMEOS DE LAS BOQUILLAS POR LO QUE SE PERMITE ELIMINAR LOS CUERNOS DE ARQUEO PARA CUAL --

QUIER POTENCIAL QUE SE ADJUDIQUE. EN ESTE CASO QUIZA PUEDA CONSIDERARSE NUEVAMENTE COMO MEDIDA MAS CORRECTA, EL ATERRIZAR LA TERMINAL MIENTRAS SE ESTE PROBANDO LA ALTA TENSION, ESTO PERMITIRA IMPRIMIR EL VOLTAJE DE PRUEBA COMPLETO A TRAVES DE LA BOBINA SERIE ENTRE LA ALTA Y LA BAJA TENSION DEL AUTO-DEVANADO.

PARA DETERMINAR EL VALOR DE LAS RESISTENCIAS QUE HAN DE CONECTARSE ENTRE TERMINALES Y TIERRAS SE HA PENSADO EN QUE OCURRIRIA SI LA MISMA LINEA DE TRANSMISION CON SU IMPEDANCIA CARACTERISTICA, SE CONECTARA A LAS TERMINALES DEL TRANSFORMADOR Y A LA VEZ SUJETARLO A LA PRUEBA DE IMPULSO. UN ANALISIS VERIFICADO POR LA PRUEBA INDICARA QUE LA IMPEDANCIA CARACTERISTICA DE LAS LINEAS DE TRANSMISION VARIA ENTRE LOS 400 Y 500 OHMS Y QUE PARA VALORES DE IMPEDANCIA MAS BAJOS, LA DIFERENCIA OBTENIDA EN PRUEBA AL USAR CUALQUIERA DE ESTOS VALORES Y LA TERMINAL DEL DEVANADO SOLIDAMENTE A TIERRA ES MUY PEQUEÑA Y LA HACE RELATIVAMENTE SIN IMPORTANCIA.

ANALISIS DE LAS FALLAS DE IMPULSO.- ANTIGUAMENTE SE PENSABA EN LA POSIBILIDAD DE QUE LAS PRUEBAS DE IMPULSO PUDIERAN OCASIONAR POR SI MISMAS, DEBILITACIONES EN LOS AISLAMIENTOS DEL TRANSFORMADOR Y SE CREIA QUE TALES ENSAYOS EN VEZ DE REPORTAR BENEFICIOS MAS BIEN REPRESENTABAN RIESGOS (A PESAR DE LA ACEPTACION UNANIME DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DEL DIELECTRICO A BAJAS FRECUENCIAS). TALES TEMORES CARECEN DE FUNDAMENTO. MUCHOS TRANSFORMADORES QUE SE HAN SUJETADO A LA PRUEBA DE IMPULSO Y QUE EN LOS OSCILOGRAMAS U OTROS MEDIOS, NO HAN DETECTADO FALLAS, HAN SIDO DESEMBLADOS Y ANALIZADOS CUIDADOSAMENTE SIN ENCONTRAR NINGUN PUNTO DEBILITADO EN LOS AISLAMIENTOS. EN CAMBIO SI EN LA PRUEBA SE DETECTA ALGUNA FALLA, AL DESMANTELARSE LA UNIDAD, ESTA FUE LOCALIZADA CON RELATIVA FACILIDAD. ES DE HACERSE NOTAR, QUE EN CASI TODOS LOS CASOS LOS TRANSFORMADORES HABIAN PASADO CON EXITO LAS PRUEBAS DE BAJA FRECUENCIA, POR LO QUE PUEDE RECOMENDARSE, QUE AL SER DIFERENTES LOS EFECTOS DE UNA Y OTRAS, SE REPITA LA PRUEBA DE VOLTAJE INDUCIDO A CONTINUACION DE LA DE IMPULSO Y ASI VERIFICAR LA CALIDAD DE LA O LAS UNIDADES.

ANTES DE HABLAR CONCRETAMENTE DE COMO SE DETECTAN LAS FALLAS, SE EXPLICARA A GROSOMODO EN QUE CONSISTEN DICHAS FALLAS.

ES UN HECHO EXPERIMENTAL QUE ALGUNAS FALLAS PRODUCIDAS DURANTE UNA PRUEBA DE IMPULSO, EN PARTICULAR AQUELLAS PRODUCIDAS POR ONDAS CORTADAS, DESAPARECEN CON MAYOR O MENOR PRONTITUD (UNAS EN MINUTOS Y OTRAS EN EL TRANCURSO DE VARIAS HORAS), SELLANDO LA FALLA DE TAL MODO QUE UNA ONDA COMPLETA APLICADA A LA MISMA TERMINAL, PASE A TRAVES DEL DEVANADO SIN PRODUCIR LA MAS MINIMA ALTERACION DE SU AISLAMIENTO. LAS OPORTUNIDADES DE QUE ESTAS FALLAS SE PRESENTEN OTRA VEZ, SON MENORES Y EL RIESGO QUE SE TOMA AL INSTALAR TALES TRANSFORMADORES PARA SU SERVICIO NORMAL ES TAMBIEN PEQUEÑO DEBIDO A LOS BUENOS SISTEMAS DE PROTECCION CON QUE SON AUXILIADOS.

POR LO TANTO ES BASTANTE DIFICIL DAR UNA DEFINICION PRACTICA PARA DECIR SI UNA

UNIDAD HA FALLADO O NO EN LA PRUEBA DE IMPULSO. LAS DIVERSAS OPINIONES DE LOS GRUPOS INTERESADOS HAN CONTRIBUIDO ALGO PARA PODER DEFINIR LAS FALLAS COMO SIGUE:

PRIMERA DEFINICION.- UNA FALLA ESTA DEFINIDA COMO CUALQUIER AVERIA DEL AISLAMIENTO YA SEA ESTE SOLIDO, LIQUIDO O SIMPLEMENTE GAS EN LA QUE SE PRODUCE UN ARCO - ELECTRICO, DIRECTAMENTE A TIERRA DE ALGUNA PARTE VIVA DEL TRANSFORMADOR.

SEGUNDA DEFINICION.- UN CORTO CIRCUITO QUE INVOLUCRA PRINCIPALMENTE LA PERFORACION DE UN AISLAMIENTO SOLIDO CONFINADO EN EL TRANSFORMADOR ES UNA FALLA QUE PUEDE TENER COMO CONSECUENCIA UNA CIRCULACION DE CORRIENTE AL LLEGARSE A REPRODUCIR EN SERVICIO, YA QUE LOS GASES DEL AISLAMIENTO PRODUCIDOS POR EL CORTO-QUEDAN ATRAPADOS EN LUGARES CERCANOS AL NUCLEO SIN PODER ESCAPAR CON PRONTITUD. ADEMÁS, LA CARBONIZACION DE UN AISLAMIENTO SOLIDO PUEDE OCASIONAR LA - REDUCCION DE LA RESISTENCIA MECANICA DEL AISLAMIENTO EN UNA PROPORCION TAL QUE NO ADMITA NI UN NUEVO IMPULSO, NI EL VOLTAJE INDUCIDO A BAJA FRECUENCIA.

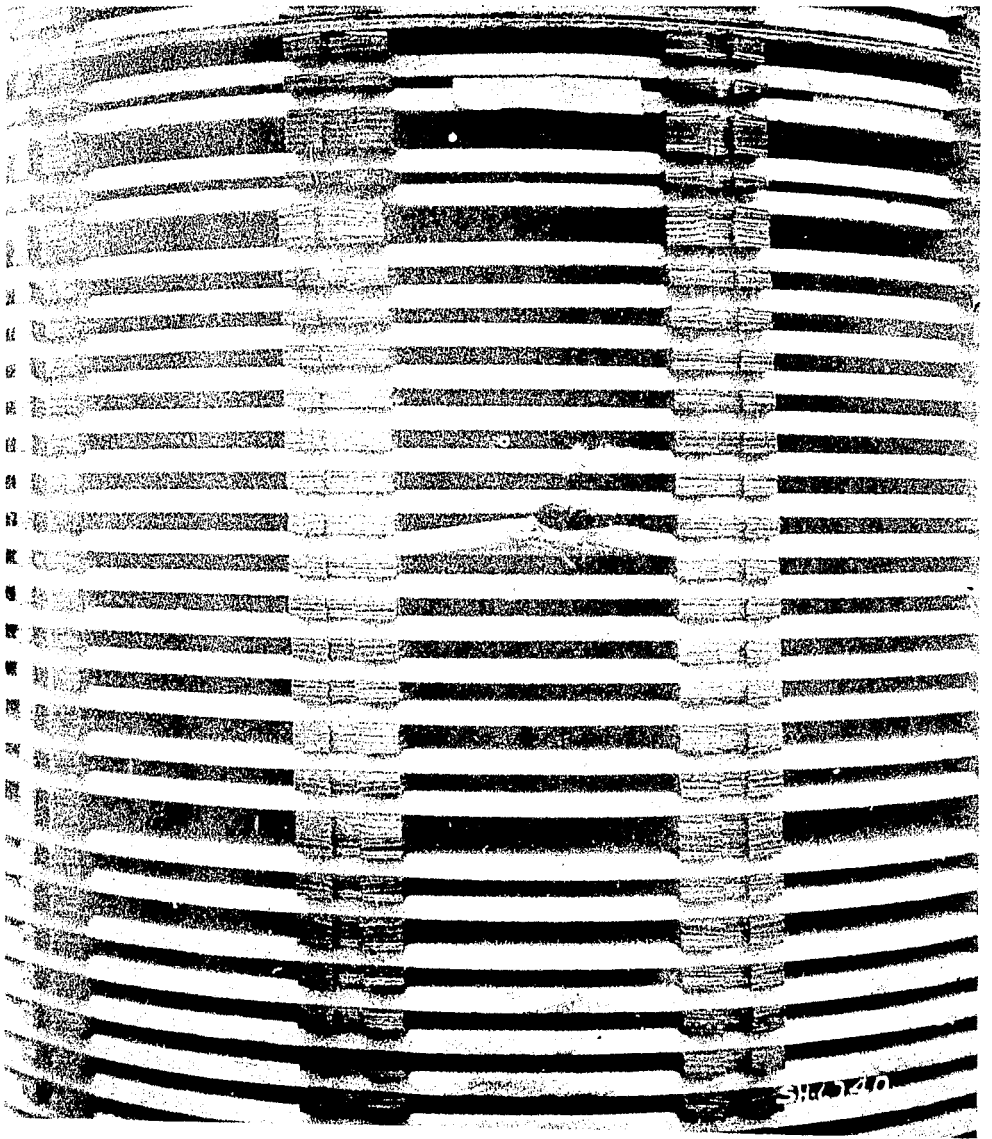
PARA COMPROBAR LAS FALLAS BAJO ESTAS CONDICIONES SE HA INICIADO UN NUEVO PROGRAMA CON EL FIN DE INVESTIGAR LOS NIVELES DE VOLTAJES A LOS CUALES LAS FALLAS YA NO SE PRESENTAN, COMPARANDOSE CON LOS VALORES DE NIVEL BASICO DE IMPULSO DE LOS AISLAMIENTOS, DENOMINANDOSE A ESTA RELACION SEVERIDAD DE FALLA.

LAS DEFINICIONES Y EL PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA SON UNA APROXIMACION PRACTICA AL PROBLEMA PUES TOMAN EN CUENTA LOS SERVICIOS QUE HAN DE PRESTAR CADA UNIDAD Y QUE AL DECIDIR LO QUE PUEDA CATALOGARSE COMO UNA FALLA DE AISLAMIENTO, REDUNDA EN - LA DESMANTELACION DEL TRANSFORMADOR CON LA SUBSECUENTE PERDIDA EN LA ECONOMIA.

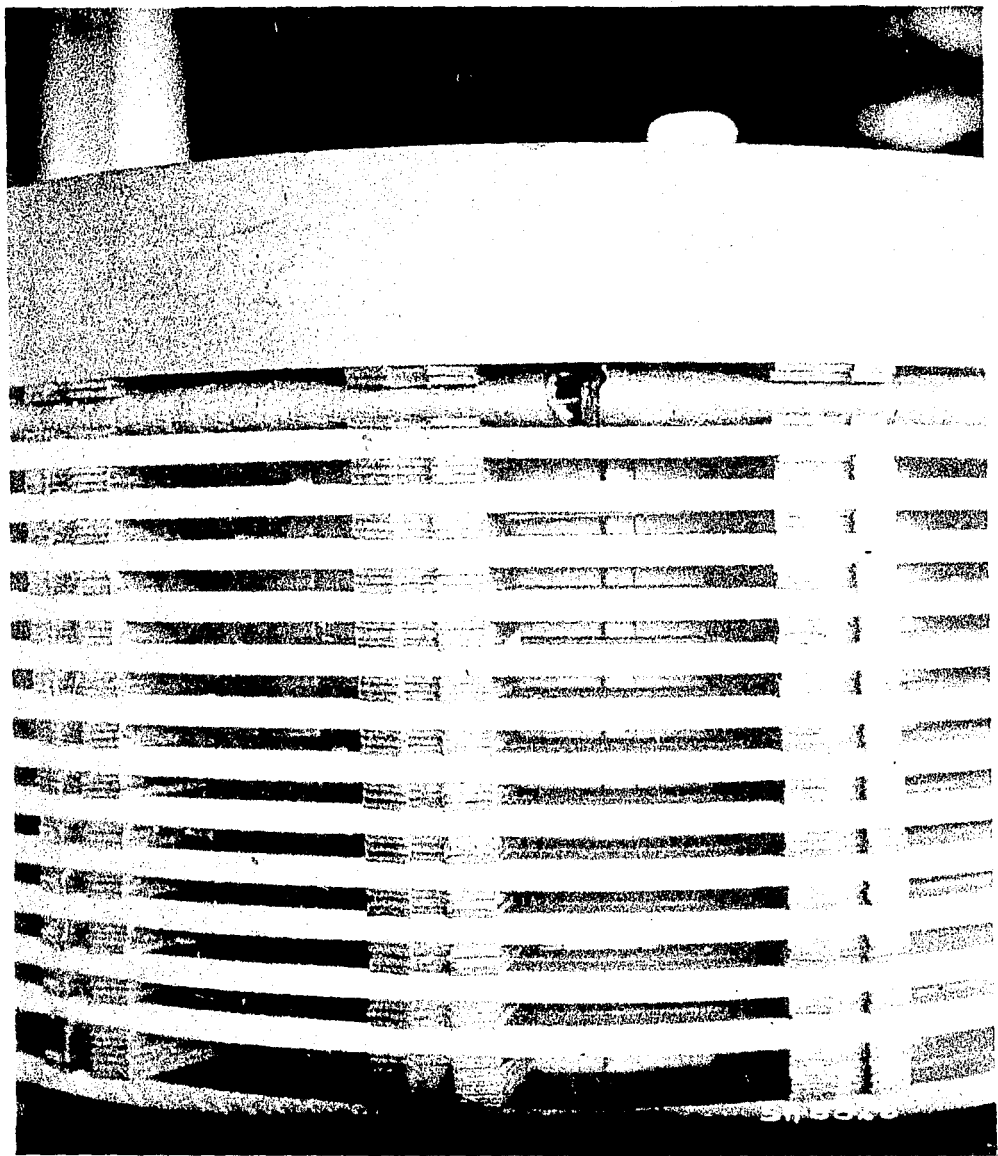
SELECCIONANDO LAS ESTADISTICAS, LAS FALLAS DE 36 DE 54 TRANSFORMADORES QUE HAN RECIBIDO LA PRUEBA DE IMPULSO DURANTE 5 AÑOS, SE PUEDE PROPORCIONAR LA SIGUIENTE TABLA (TABLA II) QUE DA EN TERMINOS DE PORCENTAJES EL TOTAL DEL NUMERO DE FALLAS DEBIDAS A LOS DIFERENTES TIPOS DE PRUEBAS, Y SU CLASIFICACION.

VARIAS COSAS DE INTERES DESTACAN DE ESTA TABLA. EL 64,98% DE LAS FALLAS ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LOS ERRORES DE CONSTRUCCION O A UNA MANO DE OBRA POBRE, O SEA QUE DE LAS 36 UNIDADES QUE FALLARON, 22 DEBEN PRINCIPALMENTE SUS FALLAS A UNA O MAS DE LAS SIGUIENTES CAUSAS.

- 1.- ENSAMBLAMIENTO SUCIO, RESULTADO DE LOS CAMBIOS HECHOS DURANTE LA MANUFACTURA, PROXIMIDADES DE MAQUINAS REPARADORAS U OTRAS ACTIVIDADES QUE - TRAEN CONSIGO SUCIEDADES LAS QUE POR FALTA DE CUIDADOS Y PROTECCION DE - LAS UNIDADES, ENSUCIAN DUCTOS, NUCLEO O BOBINAS DURANTE LA MANUFACTURA.
- 2.- ERRORES DE CONSTRUCCION QUE SE PRESENTAN AL LEER INCORRECTAMENTE LOS - PLANOS O POR NO SEGUIR LAS TOLERANCIAS ESPECIFICADAS POR EL DEPARTAMENTO



FOTOGRAFIA Nº. 1.



FOTOGRAFIA No. 2.

DE INGENIERIA.

- 3.- MANO DE OBRA POBRE; TALES COMO, SEPARACIONES POBRES ENTRE PARTES VIVAS, REBABAS DE SOLDADURA, CONEXIONES MAL REALIZADAS Y AISLAMIENTOS DAÑADOS - U OMITIDOS.
- 4.- PROCESOS DE MANUFACTURA POBRES; TALES COMO, VACIO INSUFICIENTE Y FISURAS O GRIETAS EN EL TANQUE MAL SOLDADAS.
- 5.- MATERIALES AISLANTES DEFECTUOSOS.

DE LA MISMA TABLA SE DESPRENDE QUE EL 29,27% DE LAS FALLAS RESTANTES, SE DEBIO A ERRORES DE INGENIERIA O SEA QUE 20 DE LAS 68 UNIDADES FALLARON PRINCIPALMENTE POR UNA O MAS DE LAS SIGUIENTES CAUSAS.

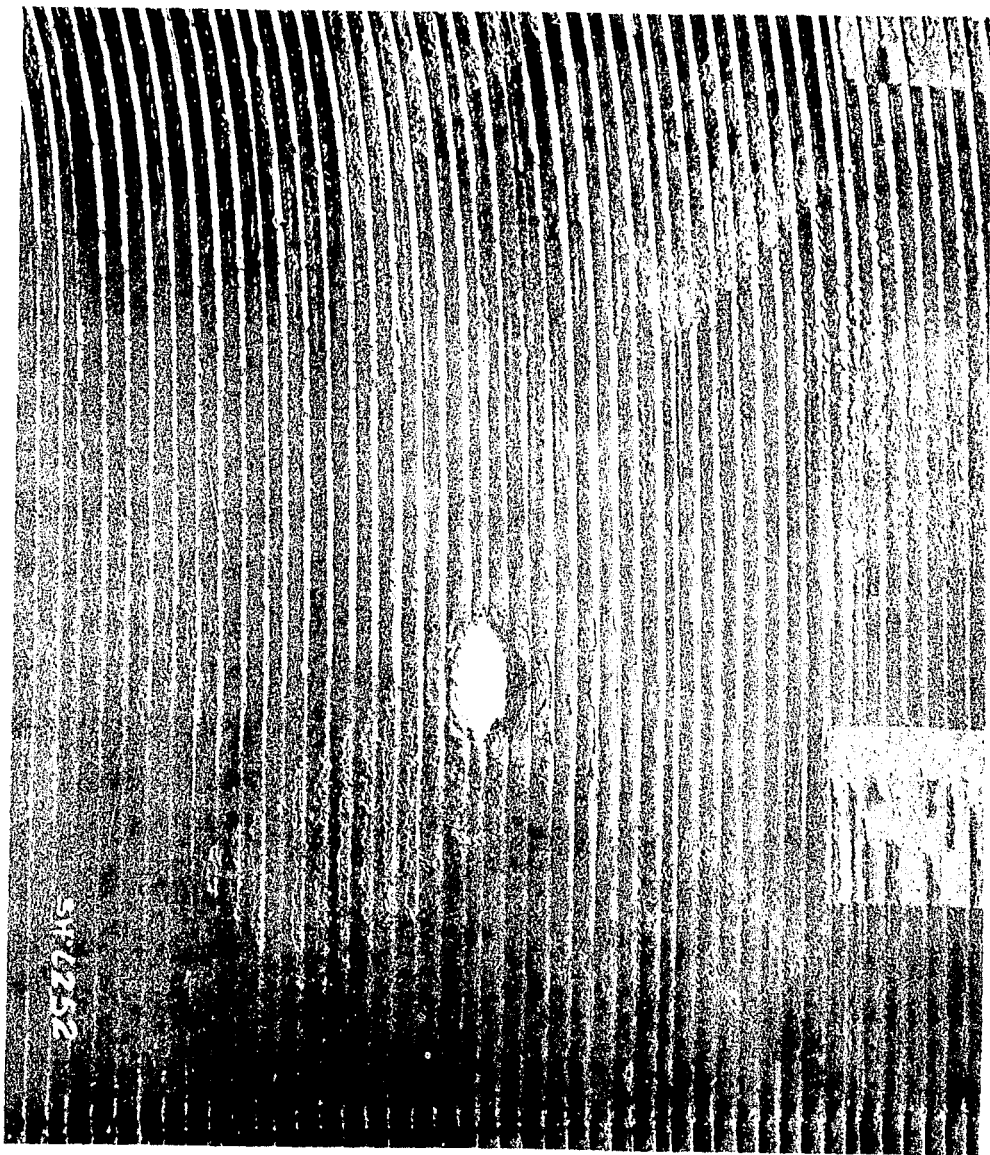
- 1.- MATERIAL AISLANTE ERRONEAMENTE SELECCIONADO; POR EJEMPLO, EL HABER EMPLEADO MADERA DE MAPLE DONDE DEBERIA HABERSE UTILIZADO CARTON PENSADO.
- 2.- AISLAMIENTO INSUFICIENTE; TALES COMO, ESPACIOS ENTRE VUELTAS DEMASIADO PEQUEÑOS PARA SOPORTAR LOS VOLTAJES INDUCIDOS.
- 3.- TOLERANCIAS INSUFICIENTES ENTRE TERMINALES.

OTRAS COSAS DE INTERES QUE SE APRECIAN EN DICHA TABLA ES QUE LAS ONDAS COMPLETAS SON RESPONSABLES DE UN 64,89% DE TODAS LAS FALLAS, LAS ONDAS DE FRENTE ESCARPADO DE UN 19,27% Y LAS ONDAS CORTADAS DE UN 15,34%. LAS INDICACIONES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES SON QUE LAS ONDAS CORTADAS NO SON TAN SEVERAS COMO LAS ONDAS DE FRENTE ESCARPADO O LAS ONDAS COMPLETAS. UNA PRUEBA CON ONDAS DE FRENTE ESCARPADO SEGUIDAS DE ONDAS COMPLETAS ES MUCHO MAS SEVERA QUE UNA PRUEBA QUE INVOLUCRE SOLAMENTE ONDAS CORTADAS Y ONDAS COMPLETAS.

SEGUN LA CLASIFICACION DE LA MISMA TABLA, UN GRAN NUMERO DE FALLAS RESULTA POR DIFICULTADES EN LAS TERMINALES, BOQUILLAS Y CAMBIADORES. MUCHOS DE ESTOS PROBLEMAS PUEDEN SER REPARADOS SIN NECESIDAD DE SACAR EL TRANSFORMADOR DEL TANQUE.

LAS DIFICULTADES QUE SE PRESENTEN ENTRE VUELTAS, BOBINAS, O EN EL AISLAMIENTO PRINCIPAL (MAJOR INSULATION) OBLIGAN LA DESMANTELACION DE LAS BOBINAS Y DEL AISLAMIENTO. COMO EJEMPLOS DE ALGUNAS DE ESTAS FALLAS, SE PUEDEN APRECIAR LAS FOTOGRAFIAS PRESENTADAS EN PAGINAS POSTERIORES.

LA FOTOGRAFIA 1 MUESTRA LA FALLA DEL AISLAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR DE TIPO DE COLUMNAS DEBIDA A UN ERROR DE CONSTRUCCION. LA FALLA OCURRIO ENTRE LA ULTIMA VUELTA DE LA SECCION 42 DE LA BOBINA 5 Y LA ULTIMA VUELTA DE LA SECCION 4 DE LA MISMA



546252

FOTOGRAFIA N. 3

BOBINA. AL APLICARSELE LA ONDA COMPLETA SE APRECIO UN LIGERO DISTURBIO EN EL PER FIL DE LA ONDA. ACTO SEGUIDO SE EXCITO EL TRANSFORMADOR CON UNA FUENTE DE 6900 - VOLTS, MONOFACICO, 2500 KVA Y 60 CICLOS Y SE LE APLICO NUEVAMENTE LA ONDA COMPLETA HACIENDOSE MAS NOTORIA LA FALLA.

CLASIFICACION DE FALLAS.	CAUSA DE FALLAS.		TIPO DE PRUEBA PRODUCIENDO FALLAS.		
	CONSTRUCION. (%)	DISEÑO (%)	ONDA COMPLETA. (%)	ONDA CORTADA (%)	ONDA ESCARPADA. (%)
AISLAMIENTO PRINCIPAL	3.50	3.50	3.5	3.5	1.75
BOQUILLAS	10.52	0.00	8.77	0.00	1.75
TERMINALES	15.84	10.52	21.10	0.00	5.26
CAMBIADORES	1.75	3.50	3.50	0.00	1.75
PLACAS ESTATICAS	12.26	0.00	7.01	3.50	1.75
DUCTOS	21.11	3.50	12.26	8.84	3.51
ENTRE VUELTAS	0.00	8.25	5.25	0.00	3.50
SIN DETERMINAR	—	—	3.50	0.00	0.00
PORCENTAJE TOTAL	64.98	29.27	64.89	15.84	19.27

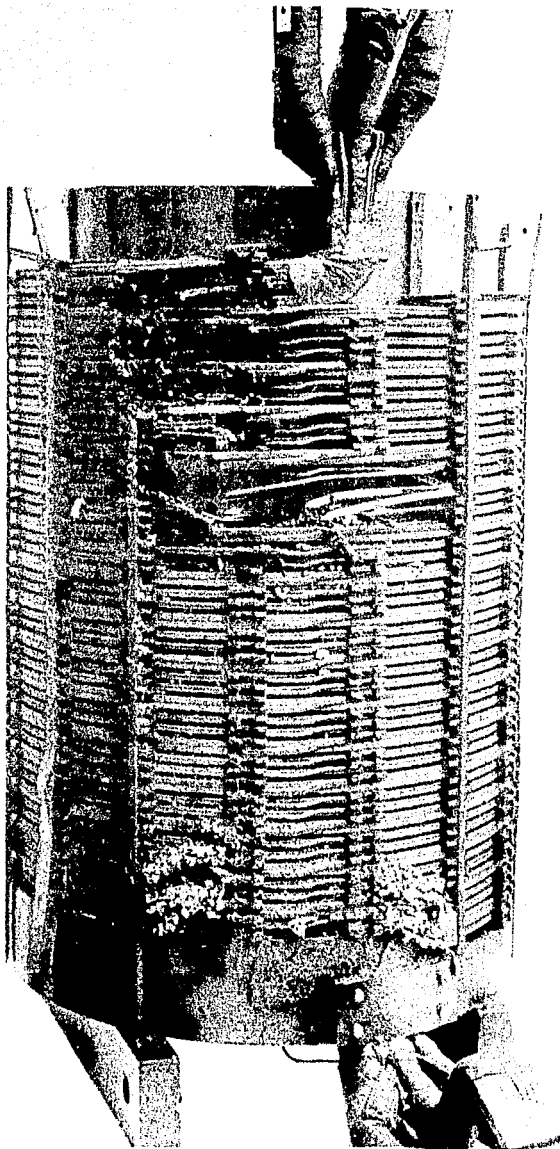
TABLA 2.

ANALISIS DE LAS FALLAS OCURRIDAS EN LOS - TRANSFORMADORES DURANTE LAS PRUEBAS DE IMPULSO EN UN PERIODO DE 5 AÑOS.

LA FOTOGRAFIA 2 MUESTRA LA FALLA OCURRIDA EN UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA TIPO DE COLUMNAS, POR ESTAR LA PLACA ESTATICA EN CORTO CIRCUITO. LA FALLA SE DETERMINO POR LA PRESENCIA DE HUMO Y BURBUJAS Y EL COLAPSO DE LA ONDA DE VOLTAJE EN EL - OSCILOGRAMA.

LA FOTOGRAFIA 3 MUESTRA LA FALLA OCURRIDA EN LA BOBINA DE BAJO VOLTAJE DE UN TRANSFORMADOR TIPO ACORAZADO. LA FALLA FUE DETECTADA POR LAS BURBUJAS Y EL HUMO - PRODUCIDOS POR UNA ONDA DE IMPULSO COMPLETA.

POR ULTIMO LA FOTOGRAFIA 4, MUESTRA QUE EL AUMENTO DE DESTRUCCION EN UN - TRANSFORMADOR EN SERVICIO ES MUCHO MAYOR QUE EL QUE PUEDE SER OBTENIDO EN EL LABO



FOTOGRAFIA No. 4.

RATORIO.

DETECCION DE FALLAS.- HAY TRES METODOS PRINCIPALES PARA DETECTAR LAS FALLAS DE LOS AISLAMIENTOS AL APLICARSELES LA PRUEBA DE IMPULSOS PUDIENDOSE ADEMÁS COMBINARLOS AL PRESENTARSE OTROS SINTOMAS ADICIONALES QUE INDIQUEN DIFICULTADES,

LOS TRES METODOS BASICOS SON:

- 1.- VARIACIONES EN LOS OSCILOGRAMAS DE RAYOS CATODICOS A UN VOLTAJE DE IMPULSO APLICADO,
- 2.- POR INDICACIONES DE CORRIENTES DIFERENTES A LA CORRIENTE DE EXCITACION - NORMAL DEL TRANSFORMADOR EN EL OSCILOGRAFO TIPO D'ARSONVAL,
- 3.- POR DISTURBIOS INTERNOS TALES COMO BURBUJAS, HUMO O RUIDOS EN EL TRANSFORMADOR,

DE LOS METODOS ENUNCIADOS LOS MAS IMPORTANTES SON EL PRIMERO Y EL TERCERO SIENDO ESTE ULTIMO EL QUE MAS FACILMENTE DETERMINA SI UN APARATO HA FALLADO O NO,

DEL PRIMERO METODO SE DESPRENDE LO SIGUIENTE: LAS VARIACIONES EN LOS OSCILOGRAMAS OBTENIDOS MEDIANTE EL OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS PUEDEN SER DE 4 DIFERENTES CARACTERISTICAS:

- a).- POR DISCONTINUIDADES BRUSCAS EN UNO O DOS PUNTOS DEL OSCILOGRAMA,
- b).- POR UNA SERIE DE OSCILACIONES AMORTIGUADAS DE PEQUEÑA MAGNITUD INSCRITAS A PERIODOS REGULARES EN EL OSCILOGRAMA,
- c).- POR UN ALARGAMIENTO O ACORTAMIENTO DEL PERFIL DE LA ONDA APLICADA,
- d).- POR EL COLAPSO DEFINIDO DE LA ONDA APLICADA, SEMEJANTE AL PRODUCIDO EN UNA ONDA CORTADA,

LAS TRES PRIMERAS CARACTERISTICAS DETERMINAN QUE LA FALLA PUEDE HABER OCURRIDO EN EL AISLAMIENTO PRINCIPAL O MINIMO DEL DEVANADO EN PRUEBA, LA CARACTERISTICA (d) SEÑALA FRECUENTEMENTE FALLAS EN EL AISLAMIENTO PRINCIPAL, PERO LA CAUSA PUEDE SER QUIZA, EL FLAMEO DIRECTO A TIERRA DE ALGUNA PARTE DEL DEVANADO.

EN EL SEGUNDO METODO, EL OSCILOGRAFO D'ARSONVAL, ESTA GENERALMENTE CONECTADO A LA FUENTE DE CORRIENTE DE EXCITACION Y A LA RESISTENCIA DE CARGA DEL GENERADOR DE IMPULSOS PARA DAR UN REGISTRO OSCILOGRAFICO DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE EN EL

CLASIFICACION DE FALLAS.	OSC. MAGNETICO Y DE RAYOS CATODICOS. BURBUJAS Y HUMO. (%)	OSC. DE RAYOS CATODICOS. BURBUJAS Y HUMO. (%)	OSC. DE RAYOS CATODICOS. (%)	OSC. MAGNETICO BURBUJAS Y HUMO. (%)	OSC. MAGNETICO (%)	BURBUJAS Y HUMO. (%)
AISLAMIENTO PRINCIPAL.	3.50	1.75	0.00	0.00	0.00	3.50
BOQUILLAS	3.51	1.75	3.51	0.00	0.00	1.75
TERMINALES O PUNTAS.	14.10	1.75	1.75	1.75	1.75	5.26
CAMBIADORES	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50
PLACAS ESTATICAS	1.75	5.26	0.00	1.75	0.00	3.50
DUCTOS	5.26	3.50	1.75	0.00	0.00	14.10
ENTRE VUELTAS	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80
NO DETERMINADAS	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>1.75</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>1.75</u>
TOTAL.	31.62	14.01	8.76	3.50	1.75	40.36

TABLA III

ANALISIS DE LAS FALLAS OCURRIDAS EN LOS TRANSFORMADORES DURANTE LAS PRUEBAS DE IMPULSO EN UN PERIODO DE 5 AÑOS.

OSCILOGRAMA NUM.	INDICACIONES DE FALLA.				FALLA DEL AISLAMIENTO
	BURBUJAS	HUMO	RUIDO	VARIACIONES EN EL OSCILOGRAMA	
1 ONDA COMPLETA EN X_1	NO	NO	NO	NO	NO
1 _A ONDA COMPLETA EN X_2	SI	SI	NO	NO	SI
2 ONDA REDUCIDA	NO	NO	NO	NO	NO
2 _A ONDA COMPLETA	NO	NO	NO	CAMBIO DEL PERFIL DE LA ONDA	
3 ONDA COMPLETA EN H_1	NO	NO	NO	NO	NO
3 _A ONDA COMPLETA EN H_2	NO	NO	NO	MELLA Y CAMBIO DEL PERFIL DE LA ONDA	
4 ONDA COMPLETA EN H_1	NO	NO	NO	NO	NO
4 _A ONDA COMPLETA EN H_2	NO	NO	NO	MELLA EN EL PERFIL DE LA ONDA	SI
4 _B ONDA COMPLETA EN H_2	NO	NO	NO	MELLA EN EL PERFIL DE LA ONDA	SI
5 ONDA REDUCIDA	NO	NO	NO	NO	NO
5 _A ONDA COMPLETA	NO	NO	NO	CAMBIO DEL PERFIL DE LA ONDA	SI
6 ONDA COMPLETA	NO	NO	SI	COLAPSO DE LA ONDA	SI
7 ONDA COMPLETA	SI	SI	NO	COLAPSO DE LA ONDA	SI

TABLA IV.

EJEMPLOS DE FALLAS TÍPICAS EN LOS AISLAMIENTOS
DE LOS TRANSFORMADORES.

CIRCUITO DE EXCITACION Y DE LA CORRIENTE FLUYENDO POR LA CARGA. DE ESTA MANERA, LAS DIVERSAS COMPONENTES DE LA CORRIENTE EN EL CIRCUITO DE SUMINISTRO PUEDE SER DETERMINADO. LA CORRIENTE QUE DEBE APLICARSE ANTES, DURANTE, Y DESPUES DEL IMPULSO DEBE SER LA CORRIENTE NORMAL DEL TRANSFORMADOR ASI COMO LA FRECUENCIA QUE DEBE DE SER LA DE PLACA.

LOS DISTURBIOS INTERNOS SON GENERALMENTE INDICADOS POR BURBUJAS, POR HUMO O POR AMBAS, QUE ES LO MAS FRECUENTE, PRODUCIDAS POR LA DESCOMPOSICION DEL AISLAMIENTO LIQUIDO Y LA CARBONIZACION DEL AISLAMIENTO SOLIDO AL PRODUCIRSE LA FALLA. SIN EMBARGO, ESTAS INDICACIONES DE FALLA NO SIEMPRE SE PRESENTAN POR LO CUAL SE JUSTIFICA PERFECTAMENTE EL USO DE LOS OTROS METODOS DE DETECCION, Y PREFERIBLEMENTE UNA COMBINACION DE TODOS.

LA DETECCION DE LAS FALLAS PARTIENDO DE RUIDOS QUE PUEDAN SER ESCUCHADOS EN EL INTERIOR DEL TRANSFORMADOR, REQUIERE UNA PRACTICA INTENSA PUES ES NECESARIO SABER DISTINGUIR ENTRE LO AGUDO DEL RUIDO NORMAL PRODUCIDO POR LA DESCARGA DE LA ESCALERA DE IMPULSOS Y LO AGUDO DEL RUIDO PRODUCIDO POR UNA FALLA.

UNA EXPLICACION MAS AMPLIA DE LOS METODOS DE DETECCION PUEDE APRECIARSE EN LA TABLA II, DE LA QUE RESULTA QUE LAS BURBUJAS Y EL HUMO SON LAS INDICACIONES MAS SENSIBLES DE FALLA EN EL TRANSFORMADOR PUES ANALIZANDO LAS APORTACIONES QUE CADA METODO OFRECE POR SI MISMO, HUMO Y BURBUJAS ALCANZAN UN 40.36% DE TODAS LAS FALLAS; EL OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS DETECTO EL 8.76% Y UNA PEQUEÑA FRACCION DE SOLO UN 1.75% FUE DETECTADA POR EL OSCILOGRAFO D'ARSONVAL. ESTO NO SIGNIFICA QUE LA EXCITACION A CORRIENTE Y FRECUENCIA NORMAL PUDIERA OMITIRSE DE LAS PRUEBAS PUES ES DE SUMA UTILIDAD CUANDO A UN TRANSFORMADOR NO SE LE PUEDE INSPECCIONAR SU INTERIOR POR LO QUE SE HA LLEGADO A LA CONCLUSION DE QUE SI EL TRANSFORMADOR PUEDE SER ABIERTO DURANTE LAS PRUEBAS, LOS OSCILOGRAMAS MAGNETICOS NO SON NECESARIOS.

LA TABLA IV ASOCIADA CON LOS OSCILOGRAMAS DIBUJADOS, INDICAN UN RESUMEN DE LAS FALLAS DETECTADAS EN EL MISMO PERIODO DE 5 AÑOS, APLICANDOSE SOLAMENTE ONDAS DE 1.5 x 40 MICROSEGUNDOS. INTENCIONALMENTE SE HA ELIMINADO DE LA TABLA DE DETECCION DE LAS FALLAS POR MEDIO DEL OSCILOGRAFO MAGNETICO. LOS OSCILOGRAMAS ESTAN TOMADOS DE IMPRESIONES FOTOGRAFICAS OBTENIDAS AL HACER LAS PRUEBAS, DEBIENDO TOMARSE SOLAMENTE COMO UNA INDICACION APROXIMADA.

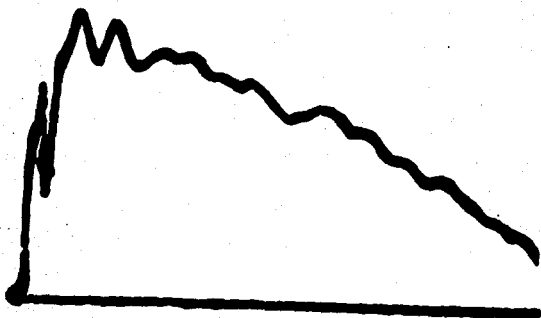
**TRANSFORMADOR 7500 KVA. 110/13.8 KV.
TIPO NUCLEO.**

ONDA COMPLETA EN X_1 - SIN DISTURBIO



OSC. No. 1

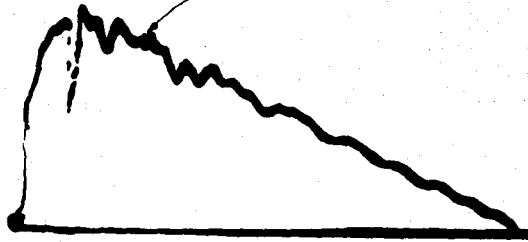
**ONDA COMPLETA EN X_2 - SIN DISTURBIOS EN EL
OSCILOGRAMA. - SE PRESENTARON BURBUJAS Y
HUMO.**



OSC. No. 1-A

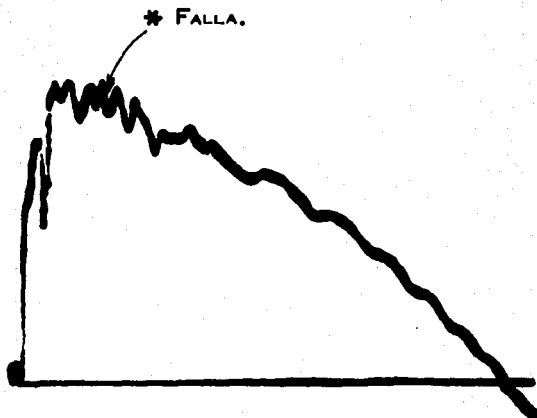
TRANSFORMADOR 1000 KVA. 66/7.97 KV.
TIPO ACORAZADO

ONDA REDUCIDA EN X_3 - SIN DISTURBIOS.
* (VER OSC. 2-A)



OSC. No. 2

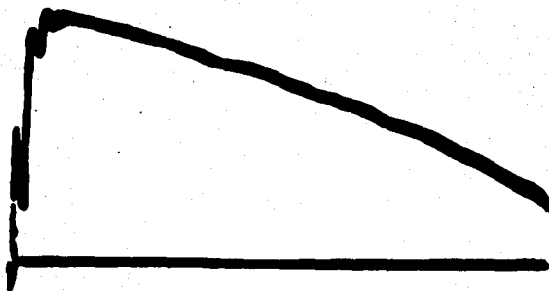
ONDA COMPLETA EN X_3 - FALLA DEL AISLAMIENTO.



OSC. No. 2-A

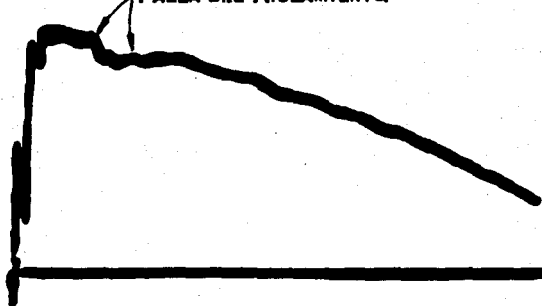
**TRANSFORMADOR 2000 KVA, 66 13.8 KV.
TIPO NUCLEO.**

ONDA COMPLETA EN H_1 - NO HAY FALLA.



OSC. No. 3

**ONDA COMPLETA EN H_2 .
FALLA DEL AISLAMIENTO.**

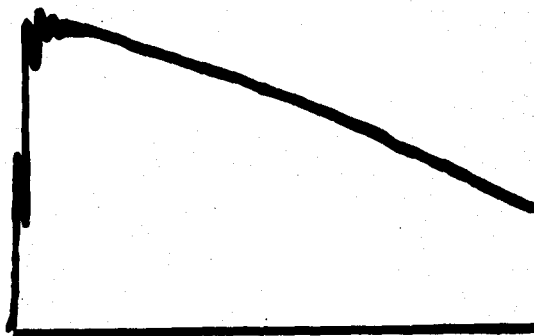


OSC. No. 3-A.

TRANSFORMADOR 3000 KVA. 33/7.97 KV.

TIPO NUCLEO.

ONDA COMPLETA EN H₁, SIN DISTURBIOS.



OSC. No. 4

ONDA COMPLETA EN H₂



OSC. No. 4-A.

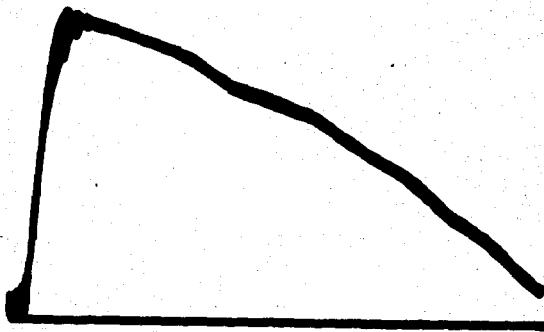
ONDA COMPLETA EN H₂



OSC. No. 4-B.

**TRANSFORMADOR 1000 KVA. 33/13.8 KV.
TIPO ACORAZADO.**

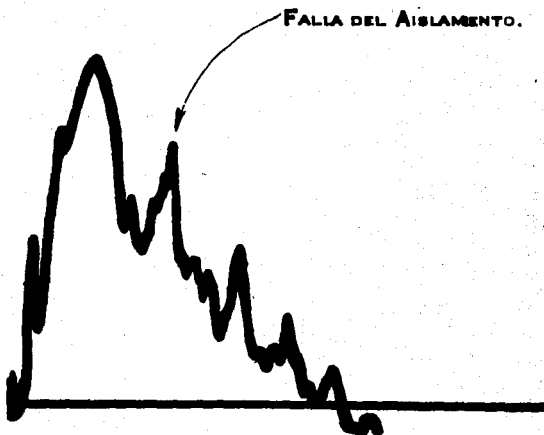
ONDA REDUCIDA.- SIN DISTURBIOS.



OSC. No. 5.

ONDA COMPLETA EN H₁

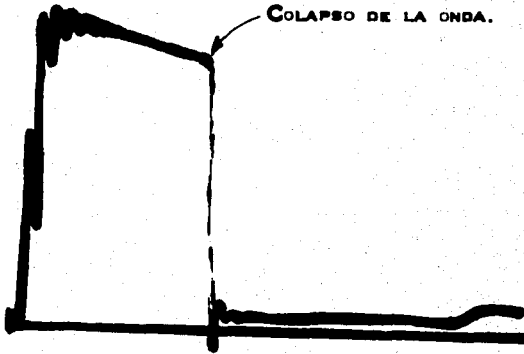
FALLA DEL AISLAMIENTO.



OSC. No. 5-A

TRANSFORMADOR 2500 KVA, 13.8/440 KV.
TIPO NUCLEO.

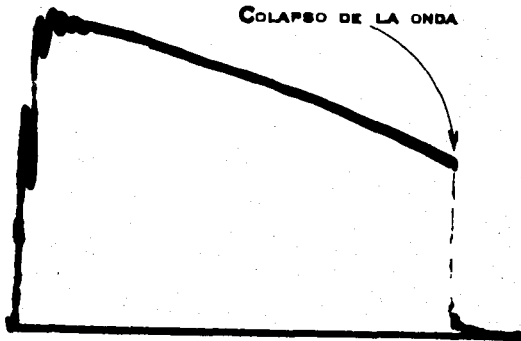
ONDA COMPLETA EN H₁



OSC. No. 6.

TRANSFORMADOR 1500 KVA, 34.5/6 KV.
TIPO NUCLEO.

ONDA COMPLETA EN H₁



OSC. No. 7.

CAPITULO IV.

EL GENERADOR DE IMPULSOS, APLICACIONES Y CIRCUITOS. EL OSCILOGRAFO.

INTRODUCCION.- EL PROPOSITO DE ESTE CAPITULO ES CONSIDERAR LAS CARACTERISTICAS DE LOS GENERADORES DE IMPULSOS EN RELACION CON SU APLICACION A LAS PRUEBAS DE LOS AISLAMIENTOS EN LOS TRANSFORMADORES. OTRAS APLICACIONES DEL GENERADOR DE IMPULSOS PUEDEN SER DEDICADAS A LAS PRUEBAS DE AISLADORES, SOQUILLAS Y ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTOS SIMILARES, SIN EMBARGO ESTAS NO SE PRESENTARAN EN EL PRESENTE ESTUDIO POR CONSIDERARLAS FUERA DE TEMA.

CIRCUITOS DEL GENERADOR DE IMPULSOS Y DE LOS APARATOS PROBADOS.- EL GENERADOR DE IMPULSOS ESTA CONSTITUIDO DE UN BANCO DE CAPACITORES O BIEN DE UN BANCO DE GRUPOS DE CAPACITORES, EN EL QUE CADA CAPACITOR O GRUPO ES CARGADO EN PARALELO CON UN POTENCIAL SUMINISTRADO POR CORRIENTE DIRECTA (C.D.) Y SE DESCARGAN EN SERIE A TRAVES DE UNA RESISTENCIA EXTERNA POR MEDIO DE UNOS ELECTRODOS DE ESFERAS. DICHO BANCO DE CAPACITORES ESTA REFERIDO GENERALMENTE AL CIRCUITO **MAX.**

PUESTO QUE LOS TRANSFORMADORES TIENEN UNA AMPLIA GAMA DE CARACTERISTICAS, LAS COMPONENTES DEL GENERADOR DE IMPULSOS DEBEN SER VARIADAS PARA PODER OBTENER LOS DIFERENTES PERFILES DE LAS ONDAS. EN EL CIRCUITO DE LA FIG. 1,4 A ESTA REPRESENTADO EL CIRCUITO ELEMENTAL DE UN GENERADOR DE IMPULSOS. LA CAPACITANCIA C_s REPRESENTA LA CAPACITANCIA TOTAL DEL BANCO DE CAPACITORES, CARGADA A UN POTENCIAL E - DESCARGANDOSE A TRAVES DE LOS ELECTRODOS G SOBRE LA CARGA O LA RESISTENCIA DE DES

CARGA R. UNA INDUCTANCIA L_s ESTA INEVITABLEMENTE VINCULADA AL CIRCUITO DEL BANCO DE CAPACITORES Y EN TODAS LAS TERMINALES CONECTANDO LAS RESISTENCIAS DE CARGA (R_c) Y TAMBIEN LOS APARATOS EN PRUEBA. ASI MISMO, UNA RESISTENCIA R_s ESTA INVOLUCRADA EN EL CIRCUITO DEL BANCO DE CAPACITORES, DISTRIBUIDA EN EL INTERIOR DE ESTE PARA UNIFORMIZAR EL VOLTAJE A TRAVES DEL NUMERO DE RESISTENCIAS Y ADEMAS PRESENTE EN LAS

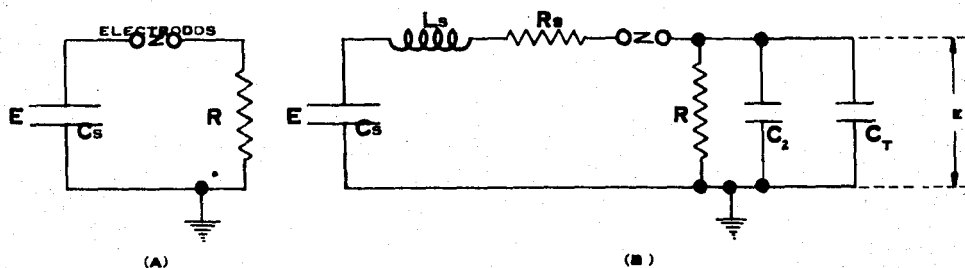


Fig. 1.4.

CONEXIONES DE LAS TERMINALES ETC., POR RAZONES EXPLICADAS POSTERIORMENTE, ESTA RESISTENCIA PUEDE INCREMENTARSE O DISMINUIRSE PARA AJUSTARLA A UN VALOR APROPIADO. ADICIONALMENTE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE CAPACITORES Y LOS DEMAS ACCESORIOS DEL GENERADOR TIENEN UNA CAPACIDAD A TIERRA, QUE PUEDE CONSIDERARSE COMO UNA CAPACITANCIA ACUMULADA C_2 . DE ESTA MANERA, EL DIAGRAMA DEL CIRCUITO EN LA FIG. 1.4 B REPRESENTA EN FORMA SIMPLIFICADA EL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL GENERADOR DE IMPULSOS CON UNA CARGA CAPACITIVA COMO LA MENCIONADA. LA CAPACITANCIA C_T ES LA CAPACITANCIA DE CARGA; C_L REPRESENTA LA CAPACITANCIA DISPERSA A TIERRA DEL GENERADOR COMBINADO CON LA CARGA CAPACITIVA. ES DECIR $C_L = C_2 + C_T$.

LOS TRANSFORMADORES INTRODUCEN OTROS ELEMENTOS EN EL CIRCUITO DE PRUEBA - DEL GENERADOR, TENIENDO COMO RESULTADO MODIFICACIONES EN EL PERFIL DE LA ONDA GENERADA. EN EL CASO DE TRANSFORMADORES CON VOLTAJES DISTRIBUIDOS BIEN UNIFORMIZADOS, EL CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CARGA REPRESENTADA POR EL APARATO, CONSISTE EN UNA CAPACITANCIA C_T EN PARALELO CON LA INDUCTANCIA PROPIA DEL DEVANADO L_T . LA CAPACITANCIA TOTAL DEBIDA A LA CAPACITANCIA DEL GENERADOR Y A LA DEL TRANSFORMADOR PUEDE CONSIDERARSE ACUMULADA EN LA CAPACITANCIA C_L COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 2.4 Y PUESTO QUE LA PRUEBA DE IMPULSO ES APLICADA TAMBIEN A LOS TRANSFORMADORES EN LOS QUE LA DISTRIBUCION DEL VOLTAJE DIFIERE DE SER UNIFORME, EL CIRCUITO EQUIVALENTE DE ESTOS TRANSFORMADORES PUEDE SER REPRESENTADO SIMPLIFICADAMENTE POR LAS FIGS. 3.4 Y 4.4 EN LAS QUE T REPRESENTA EL DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL CIRCUITO CORRESPONDIENTE DEL TRANSFORMADOR, EN DONDE EL NUMERO DE MALLAS DEPENDE DEL TIPO DE CONSTRUCCION DEL

MISMO, C_s REPRESENTA LA CARGA CAPACITIVA.

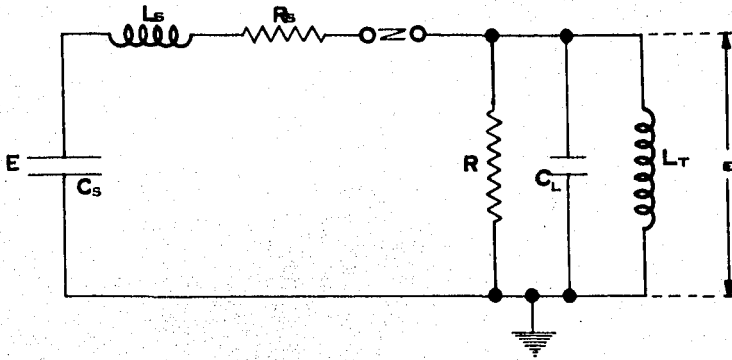


FIG. 2.4.

BANCO DE CAPACITORES.— COMO YA SE MENCIONA EN EL ARTICULO ANTERIOR, EL BANCO DE CAPACITORES ES CARGADO EN PARALELO, DESCARGA EN SERIE, Y GENERALMENTE ESTA REFERIDO AL CIRCUITO MARX. LA FIG. 5.4 MUESTRA EL CIRCUITO MARX DEL BANCO DE CAPACITORES DE UN GENERADOR DE IMPULSOS DE 5 PASOS,

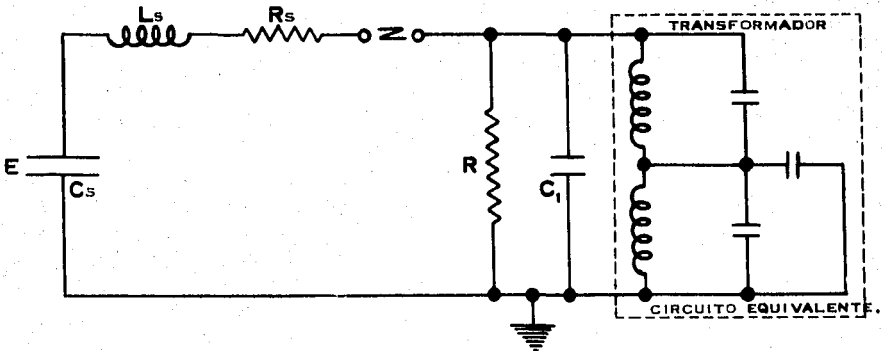


FIG. 3.4.

AL APLICARSE EL VOLTAJE DE CARGA A TRAVES DEL PRIMER PASO, TODOS LOS CONDENSADORES DE LOS PASOS RESTANTES RESTANTES, SE CARGAN APROXIMADAMENTE AL MISMO VOLTAJE, DIFERENCIANDOSE SOLAMENTE POR LA CAIDA DE POTENCIAL EN LAS RESISTENCIAS DE CARGA (R_c) CAUSADA POR CORRIENTES DISPERSAS A TRAVES DE LOS CAPACITORES. UNA VEZ CARGADOS TODOS LOS PASOS DEL GENERADOR, ES EVIDENTE QUE AL PRODUCIRSE EL DISPARO DEL PRIMERO, TODOS LOS CAPACITORES RESTANTES, QUEDARAN CONECTADOS EN SERIE DISPARANDOSE CONSECUTIVAMENTE TODAS LAS ESFERAS. EL VOLTAJE OBTENIDO EN EL ULTIMO PASO SERA N VECES EL VOLTAJE DE CADA PASO; EN EL QUE N ES EL NUMERO DE CAPACITORES QUE SE PUDIERON EN SERIE.

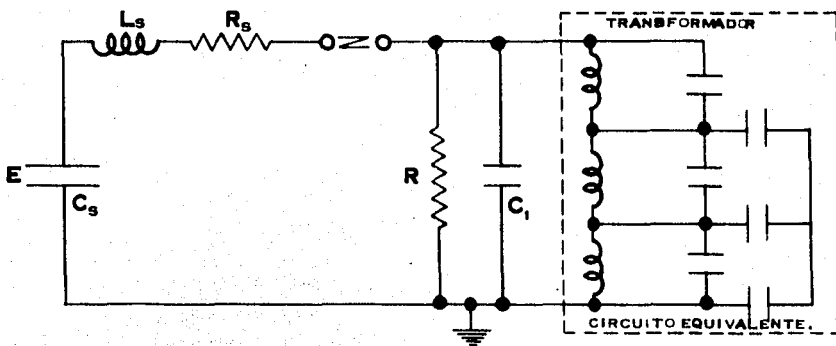


Fig. 4.4

PARA LIMITAR EL VOLTAJE DE SALIDA DEL GENERADOR DE IMPULSOS VARIAS COMBINACIONES PUEDEN SER HECHAS. UNA DE ELLAS ES AUMENTANDO LA CAPACITANCIA Y REDUCIENDO AL MISMO TIEMPO EL NUMERO DE PASOS ACTIVOS. NORMALMENTE, UN PASO ACTIVO DEL BANCO GENERADOR DE IMPULSOS ESTA CONSTITUIDO POR DOS CAPACITORES CADA UNO DESIGNADO CON UNA CAPACIDAD DE $0.25 \mu\Omega$. A 100 KV. ENTRE BOQUILLAS. AMBOS CAPACITORES ESTAN PERMANENTEMENTE CONECTADOS POR MEDIO DE UNA SOLERA DE COBRE EN SUS CARGAS. LA CORRIENTE DE CARGA FLUYE POR LA PRIMERA TERMINAL DE UNO DE LOS CAPACITORES, PASA A TRAVES DE LA BARRA CONECTORA Y SALE POR LA ULTIMA TERMINAL CON LO QUE QUEDAN CONECTADAS EN SERIE LA MITAD DE CADA UNO DE ELLOS SIENDO LA CAPACITANCIA EQUIVALENTE DE AMBOS DE $1/4$ DE MICROFARAD. EL PASO, PARA ESTA CONEXION ESTA NOMINADA COMO $1/4$ DE MICROFARAD A 100 KV.

PARA INCREMENTAR LA CAPACITANCIA DEL PASO, SE PONEN EN CORTO CIRCUITO LAS BOQUILLAS TERMINALES DE CADA CAPACITOR. DE ESTA FORMA QUEDAN CONECTADOS EN PARA-

LELO LOS DOS CAPACITORES INTERNOS CON QUE CUENTA CADA CARCASA. AL CIRCULAR LA —
CORRIENTE DE CARGA, ESTA FLUYE DESDE LAS TERMINALES EN CORTO DE UN TANQUE A LAS
TERMINALES EN C.C. DEL OTRO, PASANDO A TRAVES DE LAS CAPACITANCIAS EN PARALELO DE
UNO Y OTRO CAPACITOR QUE A SU VEZ ESTAN CONECTADOS EN SERIE. LOS CAPACITORES EN —
PARALELO NOS DAN UNA CAPACITANCIA EQUIVALENTE DE 1 MICROFARAD SIENDO LA CAPACITAN-
CIA FINAL DE LOS DOS DISPOSITIVOS DE 1/2 MICROFARAD A 100 KV. PARA VARIAR LA CAPACI-
TANCIA HASTA 3 MICROFARADS, OTRO CIRCUITO PUEDE SER USADO. CONSISTE EN PONER EN —
PARALELO UN CIERTO NUMERO DE PASOS. PARA HACERLO, LAS RESISTENCIAS DE CARGA R_C —
SON PUESTOS EN CORTO CIRCUITO DE TAL MANERA QUE DOS, TRES, CUATRO O HASTA SEIS PASOS
QUEDAN CONECTADOS EN PARALELO. TODOS ESTOS CAPACITORES SON CARGADOS AL MISMO —
TIEMPO SIN TENER ENTRE ELLOS, ABSOLUTAMENTE NINGUNA RESISTENCIA DE CARGA. CON ES-
TA COMBINACION, EL VOLTAJE DE SALIDA DEL GENERADOR QUEDA LIMITADO. SI POR EJEMPLO,

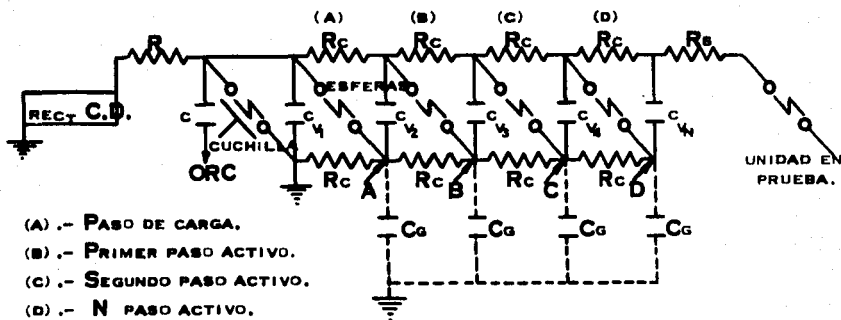


Fig. 5. 4.

EN UN GENERADOR DE 1,8 MILLONES DE VOLTS QUE ESTA CONSTITUIDO POR 18 PASOS, SE PO-
NEN EN PARALELO 6 PASOS DE CAPACITORES, SE OBTIENE UNA SALIDA TEORICA DE SOLAMENTE
300 KV. ESTA CONEXION PERMITE SOLO TRES GRUPOS DE 6 CAPACITORES EN PARALELO, DE
TAL MANERA QUE SE TIENEN 3 PASOS EFECTIVOS EN EL GENERADOR.

EL EMPLEO DE CAPACITANCIAS ELEVADAS PUEDE OCASIONAR CIERTOS PROBLEMAS.

ESTA DEMOSTRADO QUE CON CAPACITANCIAS DE 3 O MAS MICROFARADS EN EL GENERA-
DOR Y UNA BAJA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR SE FORMA UN CIRCUITO OSCILATORIO. EL
VOLTAJE DE LA ONDA EN ESTE CASO, SE PERFILO RAPIDAMENTE, CAE HASTA CERO Y OSCILA-
HASTA ALGUNA MAGNITUD DE POLARIDAD OPUESTA. EN MUCHOS CASOS ESTA OSCILACION DEBA-
JO DEL EJE DE VOLTAJES CERO, ES DE UN 50 A UN 90% DEL NIVEL INICIAL DE LA CRESTA DE LA

ONDA. ESTO DESDE TODOS LOS PUNTOS DE VISTA ES PERJUDICIAL PARA EL AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR.

EN LAS DESCARGAS PRODUCIDAS POR LOS RAYOS ESTAS OSCILACIONES NO SE EFECTUAN DEBIDO A QUE CUANDO ESTOS CAEN EN UNA LINEA DE TRANSMISION, ESTAN COMPLETAMENTE - DESLIGADOS DE SU FUENTE DE ENERGIA QUE EN EL LABORATORIO ESTA REPRESENTADO POR EL GENERADOR. POR LO TANTO, SI EL GENERADOR ES ELIMINADO UNA VEZ QUE SE DISPARA NO - HABRA TENDENCIA DEL CIRCUITO A OSCILAR. ESTO JUSTIFICA, LA INSISTENCIA DE LOS TECNICOS QUE PIDEN QUE LAS OSCILACIONES DEBAJO DE LA LINEA DE LOS CEROS, NO DESEN EXCEDER DEL 30% DEL VOLTAGE DE CRESTA PARA NO SUJETAR AL AISLAMIENTO A ESFUERZOS INDESIDOS. DURANTE EL SERVICIO UN TRANSFORMADOR NO SE VE NUNCA SUJETO A TALES ESFUERZOS Y NO HAY RAZON PARA QUE DURANTE UNA PRUEBA DE CALIDAD SEA PROBADO ANORMALMENTE.

DISPARO DEL GENERADOR.- DEBIDO A QUE LOS VOLTAJES DE CARGA, NO PUEDEN SER IGUALES PARA CADA TIPO DE ONDA A APLICAR, ES NECESARIO QUE LOS ELECTRODOS DE ESFERAS PUEDAN SEPARARSE O EN CASO CONTRARIO, ACERCARSE CUANDO EL VOLTAGE DE CARGA - SEA VARIADO. ESTA SEPARACION DE ELECTRODOS SE ACCIONA POR MEDIO DE UN MOTOR Y SE REGULA A CONTROL REMOTO. LA SEPARACION DE ELECTRODOS DEBE SER LO SUFICIENTEMENTE AMPLIA PARA SOPORTAR SIN DISPARARSE EL VOLTAGE DE CARGA APLICADO AL BANCO DE CONDENSADORES. SI SU DISTANCIAMIENTO NO ES EL SUFICIENTE, UNO O DOS DE LOS ELECTRODOS SE DISPARARAN PREMATURAMENTE PUDIENDO PONER EN CORTO CIRCUITO ALGUNO DE LOS CONDENSADORES O DESCARGAR TODO EL GENERADOR ANTES DE TIEMPO. EN CASO CONTRARIO, SI LOS ELECTRODOS ESTAN BASTANTE DISTANCIADOS, EL GENERADOR NO SE DISPARARA.

UNA DE LAS RAZONES MAS IMPORTANTES POR LA QUE ES POSIBLE QUE EL VOLTAGE DE CARGA SE PUEDA IMPRIMIR PROGRESIVAMENTE EN TODOS LOS PASOS ACTIVOS DEL GENERADOR, ES LA EXISTENCIA DE LA CAPACITANCIA A TIERRA (C_g FIG. 5.4) PROPIA DE LOS CAPACITORES Y DE LA ESCALERA CON LO CUAL SE LOGRA REDUCIR EL NUMERO DE CONDENSADORES QUE DESCARGAN EN SERIE. EL PRIMER RECURSO PARA VARIAR EL VOLTAGE DE SALIDA ESTA LIMITADO A UN CIERTO RANGO DEBIDO A LAS RESTRICCIONES DEL MECANISMO DE DISPARO. SI LOS VOLTS DE CARGA VARIAN DE 30 A 180 VOLTS, EL CIRCUITO DE DISPARO PUEDE CONSIDERARSE SATISFACTORIO. LOS 180 VOLTS EQUIVALEN A UNA ALIMENTACION DE 100 KV DEL RECTIFICADOR. - DEBAJO DE LOS 30 VOLTS DE CARGA, LOS ELECTRODOS DEL GENERADOR SE VUELVEN MUY ERRATICOS Y DIFICILES DE DISPARAR.

EL SEGUNDO METODO PARA DISPARAR EL GENERADOR, O SEA EL METODO DEL ELECTRODO DE DISPARO DE TRES ESFERAS ES EL SIGUIENTE: EL ELECTRODO ES DISPUESTO DESPUES - DEL PRIMER PASO ACTIVO DEL GENERADOR (FIG. 6.4). LA SEPARACION DE LAS TRES ESFERAS ES TAL QUE LA SEPARACION DE LA ESFERA DE LA DERECHA ES LA MITAD DE LA DISTANCIA DE LA ESFERA IZQUIERDA A LA CENTRAL.

LA SEPARACION TOTAL DE LOS DOS ENTREHIERROS DEBE SER SUFICIENTE PARA PERMITIR

EL VOLTAJE DE CARGA. DADO QUE LA ESFERA CENTRAL ADQUIERE CIERTO POTENCIAL SOBRE TIERRA, DEBIDO A LA CORRIENTE CAPACITIVA DE LA ESFERA IZQUIERDA QUE FLUYE A TIERRA A TRAVES DE LA RESISTENCIA, LA SEPARACION DE LA ESFERA IZQUIERDA DEBE SER ALGO MENOR QUE LOS ESPACIOS ENTRE LAS DEMAS ESFERAS DEL CIRCUITO DEL GENERADOR. PARA DISPARAR EL GENERADOR UN PULSO DE ALTO VOLTAJE ES APLICADO A LA ESFERA CENTRAL. LA PO

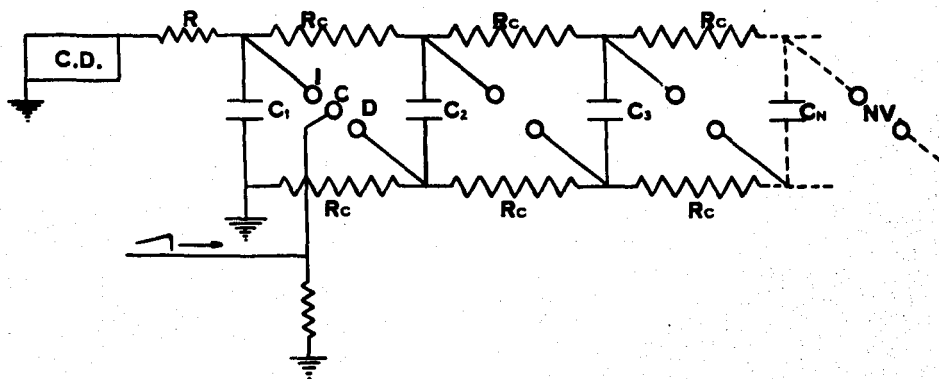


FIG. 6.4.

ALARIDAD DEL PULSO DE VOLTAJE ES OPUESTO AL VOLTAJE DE CARGA DEL GENERADOR DE TAL MODO QUE EL ENTREHIERRO DEL LADO IZQUIERDO SE ROMPE DEBIDO A ESTE VOLTAJE. CUANDO SURGE EL ARCO ELECTRICO LA ESFERA CENTRAL ADQUIERE EL MISMO POTENCIAL QUE LA ESFERA IZQUIERDA APLICANDO ENTONCES, TODO EL VOLTAJE DE CARGA DEL PRIMER CAPACITOR SOBRE LA ESFERA DEL LADO DERECHO PRODUCIENDOSE EL FLAMEO ENTRE LA ESFERA CENTRAL, Y LA DE LA DERECHA. CON ESTO, SE CIERRA EL CIRCUITO ENTRE EL PRIMERO Y SEGUNDO CONDENSADOR DEL GENERADOR.

EL PULSO QUE DISPARA EL GENERADOR ESTA FORMADO POR UN PEQUEÑO GENERADOR DE IMPULSOS. EL VOLTAJE DE CARGA DEL CONDENSADOR DEL CIRCUITO DISPARADOR ESTA OBTENIDO DE UNOS RECTIFICADORES DE CORRIENTE DIRECTA LOCALIZADOS EN LA CASETA DE CONTROL. ESTOS RECTIFICADORES SUMINISTRAN NORMALMENTE 35 KV, CON LOS QUE SE ALIMENTAN DOS CAPACITORES CARGANDOLOS EN PARALELO. AL MOMENTO DE DESCARGARSE, ESTOS CAPACITORES SON CONECTADOS EN SERIE CON LO CUAL SE OBTIENE UN SUMINISTRO DE 70 KV, QUE SON ENTONCES APLICADOS POR UN LADO, A LA ESFERA CENTRAL DEL TRIPLE ELECTRODO Y EN UNA PROPORCION MUCHO MENOR AL OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS, SINCRONIZANDOLO CON EL DISPARO DEL GENERADOR.

CARACTERISTICAS DE LAS ONDAS.- LA FORMA DE UNA ONDA PERMANECE -- SIEMPRE IGUAL INDEPENDIENTEMENTE DEL VOLTAJE DE CARGA QUE SE LE APLIQUE, SIEMPRE Y CUANDO LAS CONSTANTES DEL GENERADOR Y DE LA CARGA PERMANEZCAN FIJAS. INCREMENTAN DO LOS CAMBIOS DE VOLTAJE, LAS OSCILACIONES SON LAS MISMAS A CADA CAMBIO, EN SU RESPECTIVA PROPORCION Y NO ALTERAN EL PERIODO. EL TIEMPO EN QUE LA ONDA ALCANZA SU CRESTA Y EL TIEMPO EN QUE SE PRODUCEN LAS OSCILACIONES PRINCIPALES PERMANECEN -- CONSTANTES YA SEA PARA VOLTAJES ALTOS O VOLTAJES BAJOS. ESTA CARACTERISTICA ES DE SUMA UTILIDAD CUANDO UN ESTUDIO DE DISTRIBUCION DE VOLTAJES ES HECHO EN LOS TRANSFORMADORES QUE COMO YA SE VIO EN EL CAPITULO III, UNO DE LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN, ES EL DETERMINAR COMO LAS DIFERENTES PARTES DE UN DEVANADO OSCILAN DURANTE LA PRUEBA DE IMPULSO. POR LO TANTO DICHA CARACTERISTICA PERMITE HACER UN ESTUDIO A BAJO VOLTAJE, Y DE LA DISTRIBUCION DE VOLTAJE QUE SE OCASIONA PUEDE SER APLICADA EN SU RESPECTIVA PROPORCION CUANDO EL TRANSFORMADOR SEA PROBADO AL NIVEL DE IMPULSO DE UNA ONDA COMPLETA.

AMPLITUD DE LAS ONDAS GENERADAS. REGULACION CAPACITIVA.- -- SE HA VISTO QUE LAS ONDAS GENERADAS DEBEN SER ESCARPADAS EN SU FRENTE HASTA ALCANZAR SU VALOR DE CRESTA Y DESPUES CAER UNIFORMEMENTE A CERO. LA CAPACIDAD CARACTERISTICA DEL GENERADOR C_s Y LA RESISTENCIA DE CARGA R SON GENERALMENTE GRANDES COMO PARADAS CON LOS OTROS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE PRUEBA, DE TAL MANERA QUE LA INDUCTANCIA PROPIA DEL CIRCUITO L_s EN LAS FIGS. 1,4 B Y 2,4 TIENDEN A OSCILAR CON LA CARGA CAPACITIVA C_L A MENOS QUE SE INSERTE AL CIRCUITO UNA R_s AMORTIGUADORA APROPIADA Y SE AJUSTE AL VALOR CRITICO. DICHA R_s TOMA UN VALOR APROXIMADO DE $2\sqrt{L_s/C_L}$.

EN GENERAL, DESDE QUE LA RESISTENCIA DE CARGA R ES MUCHO MAYOR QUE LA RESISTENCIA DE AMORTIGUACION R_s , LA MAXIMA ONDA DE VOLTAJE GENERADA Y APLICADA A LOS APARATOS PROBADOS DEPENDEN LARGAMENTE DE LA CAPACIDAD TOTAL DE CARGA C_L RELACIONADA A LA CAPACIDAD CARACTERISTICA DEL GENERADOR C_s . LA REGULACION CAPACITIVA DE LA ONDA DE VOLTAJE MAXIMA GENERADA PUEDE SER EXPRESADA COMO:

$$\frac{e(\text{MAX})}{E} = \frac{1}{1+C_L/C_s}$$

DENOMINANDO EL VOLTAJE MAXIMO GENERADO SIN CARGA COMO $E_0(\text{MAX})$, LA REGULACION CAPACITIVA CON UNA CARGA C_T ES ENTONCES:

$$\frac{e(\text{MAX})}{E_0(\text{MAX})} = \frac{1}{1+C_T/(C_s+C_2)} = \frac{1}{1+C_T/C_s}$$

LAS CURVAS DE LA FIG. 7,4 DAN LAS CARACTERISTICAS DEL CIRCUITO $-C_s, R, C_L-$ PROPORCIONANDO PRIMERO, EL CALCULO DE LA REGULACION Y SEGUNDO LA RESISTENCIA DE LA

CARGA R REQUERIDA PARA PRODUCIR UNA LONGITUD DE ONDA DADA. ESTAS CURVAS ESTAN CALCULADAS A PARTIR DE LA ECUACION:

$$E = \frac{1}{1 + C_L / C_S} \left\{ \frac{t}{R(C_S + C_L)} \right\}$$

QUE SATISFACE LOS PROPOSITOS CUANDO L_S Y R_S SON PEQUEÑOS RELATIVAMENTE COMPARADOS CON LAS OTRAS CONSTANTES DEL CIRCUITO.

CONTROL DEL FRENTE DE ONDA.— BASICAMENTE EL GENERADOR Y LA CARGA— DEL TRANSFORMADOR PUEDE TAMBIEN SER REPRESENTADO PARA LOS EFECTOS DE UN FRENTE DE ONDA, SEGUN EL CIRCUITO DE LA FIG. 8.4 A, SI C_L ES PEQUEÑA COMPARADA CON C_S , EL VOLTAJE DE LA ONDA SUBIRA RAPIDAMENTE EN FORMA SIMILAR A LA CURVA A DE LA FIG. 8.4 B. — EN LA PRACTICA ESTO NO PUEDE SUCEDER DEBIDO A LA RESISTENCIA Y A LA INDUCTANCIA PROPIAS DEL CIRCUITO DEL GENERADOR. EN EL CIRCUITO DE LA FIG. 2.4 SE MUESTRAN LA RESISTENCIA R_S Y LA INDUCTANCIA L_S , ANTES MENCIONADAS. LA RESISTENCIA SERIE CAMBIA LA CONSTANTE DE TIEMPO DEL CIRCUITO. LA PENDIENTE DE LA FRENTE ES CAUSADA POR LA CAIDA DE POTENCIAL EN R_S DEBIDA A LA CORRIENTE DE CARGA DE LAS CAPACITANCIAS. SI EN UN MOMENTO DADO LA RESISTENCIA SERIE ES INCREMENTADA Y LA C_L PERMANECE FIJA, TENDRA EL MISMO EFECTO SOBRE LA PENDIENTE DE LA ONDA QUE SI R_S PERMANECE CONSTANTE Y LA C_L SE AUMENTA. POR LO TANTO, SE PUEDE DECIR QUE PARA TENER LA CRESTA DE LA ONDA AL TIEMPO ESPECIFICADO, SE VARIA LA RESISTENCIA R_S O EN CASO CONTRARIO SE AUMENTA LA CARGA CAPACITIVA DEL TRANSFORMADOR.

COMO SE MENCIONO ANTERIORMENTE, LA RESISTENCIA SERIE R_S PROPIA DEL GENERADOR ES AJUSTADA A APROXIMADAMENTE DOS VECES LA IMPEDANCIA DE OSCILACION $\sqrt{L_S / C_L}$. PARA LIBRAR AL GENERADOR DE IMPULSOS DE OSCILACIONES RESULTANTES.

LA CAPACIDAD C_S DEL GENERADOR, INICIALMENTE AL POTENCIAL E , ELEVA EL VOLTAJE DE LA CARGA TOTAL CAPACITIVA C_L DESDE CERO AL VALOR MAXIMO; SI C_S ES MAYOR QUE C_L , PARA VALORES ELEVADOS DE R Y CONSIDERANDO L_S DESPRECIABLE, EL FRENTE DE LA ONDA DE VOLTAJE PUEDE SURBIR AL 50% DEL VALOR DE CRESTA EN APROXIMADAMENTE UN TIEMPO DE $0.693(R_S \times C_L)$ TAL Y COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 9.4. EL EFECTO DE LA INDUCTANCIA DEL CIRCUITO EN EL AUMENTO DEL FRENTE SE MUESTRA EN LA CURVA 2 DE LA MISMA FIGURA, CUANDO R_S ES AJUSTADA A SU NIVEL DE AMORTIGUAMIENTO CRITICO.

ESTAS CURVAS ESTAN CALCULADAS DE LAS ECUACIONES:

$$\text{PARA LA CURVA 1.- } E = 1 + \frac{E}{1 + C_L / C_S} \left\}^{-\frac{t}{R_S} \left(\frac{1}{C_S} + \frac{1}{C_L} \right)}$$

$$\text{PARA LA CURVA 2.- } E = 1 + \frac{E}{1 + C_L / C_S} \left\}^{\frac{R_S t}{2L_S} \left(\frac{R_S}{2L_S} t + 1 \right)}$$

SIN LA RESISTENCIA DE AMORTIGUAMIENTO R_S , EL TIEMPO REQUERIDO PARA EL AUMENTO ES LA ONDA DE VOLTAJE HASTA ALCANZAR LA CRESTA DE SU PRIMERA OSCILACION ES APROXIMADAMENTE $\sqrt{L_S / C_L}$.

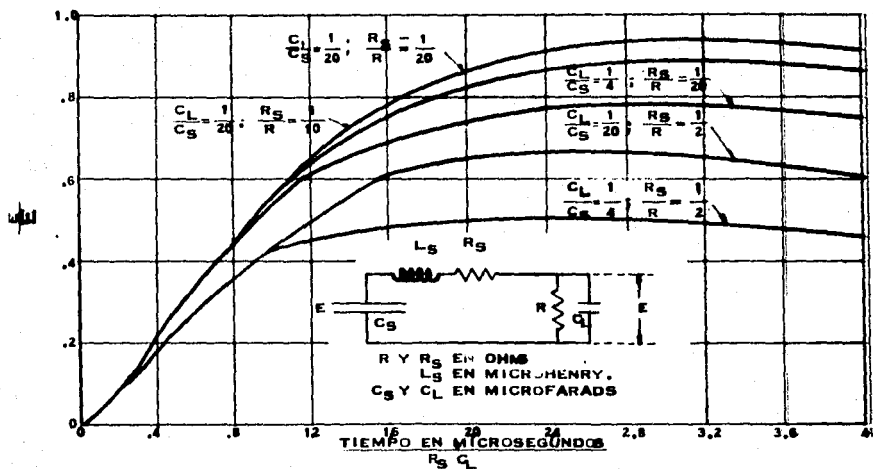


FIG. 7. 4.

ES DE HACERSE NOTAR QUE LA INDUCTANCIA L_S Y LAS CAPACITANCIAS DE CARGA C_L SON CONSTANTES LIGADAS A TODOS LOS CIRCUITOS DE PRUEBA Y PUESTO QUE ESTAS CONSTANTES NO SON SUSCEPTIBLES PARA UN CONTROL O MODIFICACIONES APRECIABLES, SE CONCLUYE QUE LOS FRENTES GENERADOS LIBRES DE OSCILACIONES QUEDAN FIJOS DENTRO DE CIERTOS LÍMITES.

PARA LA CURVA 1.-
$$E = 1 + \frac{E}{1 + C_L / C_S} z^{-\frac{1}{R_S} \left(\frac{1}{C_S} + \frac{1}{C_L} \right)}$$

PARA LA CURVA 2.-
$$E = 1 + \frac{E}{1 + C_L / C_S} z^{\frac{R_S t}{2L_S} \left(\frac{R_S}{2L_S} t + 1 \right)}$$

SIN LA RESISTENCIA DE AMORTIGUAMIENTO R_S , EL TIEMPO REQUERIDO PARA EL AUMENTO ES:
 LA ONDA DE VOLTAJE HASTA ALCANZAR LA CRESTA DE SU PRIMERA OSCILACION ES APROXIMADA-
 MENTE $\sqrt{L_S / C_L}$.

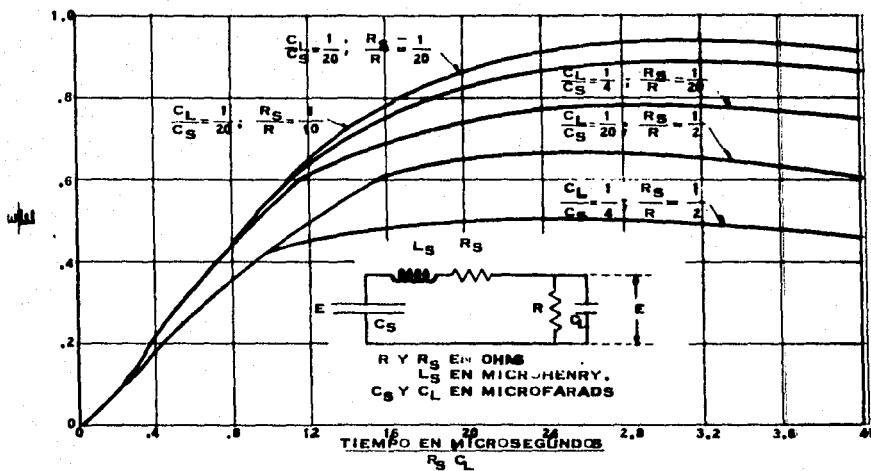


FIG. 7. 4.

ES DE HACERSE NOTAR QUE LA INDUCTANCIA L_S Y LAS CAPACITANCIAS DE CARGA C_L SON CONSTANTES LIGADAS A TODOS LOS CIRCUITOS DE PRUEBA Y PUESTO QUE ESTAS CONSTANTES NO SON SUSCEPTIBLES PARA UN CONTROL O MODIFICACIONES APRECIABLES, SE CONCLUYE QUE LOS FRENTES GENERADOS LIBRES DE OSCILACIONES QUEDAN FIJOS DENTRO DE CIERTOS LIMITES.

OTRO MODO DE CONTROLAR EL FRENTE DE LA ONDA ES ALTERANDO EL VOLTAJE DE SALIDA DEL GENERADOR, O CAMBIANDO LOS VOLTS DE CARGA O AÑADIENDO CONDENSADORES EN SERIE AL GENERADOR Y MANTENIENDO LAS MISMAS CARACTERISTICAS DE LOS VOLTS DE CARGA. - EL VOLTAJE DE SALIDA DEL GENERADOR ES INCREMENTADO POR EL AUMENTO DE LOS VOLTS DE CARGA, Y SI LOS OTROS PERAMETROS DEL CIRCUITO PERMANECEN FIJOS, EL FRENTE O LA RELACION DE SUBIDA DEL FRENTE DE LA ONDA DEBE INCREMENTARSE. ESTO SUCEDE PORQUE EL PERIODO DEL CIRCUITO ES CONSTANTE E INDEPENDIENTE DEL VOLTAJE QUE ES APLICADO. ESTE METODO DE REGULACION DEL FRENTE DE LA ONDA ES MUY UTIL EN LA PRUEBA DE LA ONDA DE FRENTE ESCARPADO EN DONDE EL VOLTAJE DE SALIDA ESTA LIMITADO POR LOS ELECTRODOS DE FLAMEO DEL APARATO EN PRUEBA EN DONDE ES NECESARIO AFECTAR EL FRENTE DE LA ONDA PARA OBTENER LOS VALORES ESPECIFICADOS.

EN EL CAPITULO ANTERIOR, SE DESCRIBIO QUE CUANDO LA ONDA LLEGA A SU CRESTA Y COMIENZA A PERFILARSE, EL CIRCUITO DEL TRANSFORMADOR PASA DE SER CAPACITIVO A INDUCTIVO. ASI QUE SI LA CAPACITANCIA DEL GENERADOR ES EXTREMADAMENTE GRANDE RESPECTO A LA IMPEDANCIA DE LA UNIDAD, LA COLA DE LA ONDA SERA RELATIVAMENTE PLANA Y DECAERA SUMAMENTE LENTA. PARA AYUDAR EL DESCENSO DE LA COLA UN CONJUNTO DE RESISTENCIAS - DE AMORTIGUAMIENTO SON USADAS ESCALONADAMENTE, CONECTANDOLAS EN PARALELO CON EL TRANSFORMADOR CON LO QUE SE AUMENTARA LA IMPEDANCIA DE LA CARGA.

DIVISORES DE VOLTAJE.- CUANDO EN UNA PRUEBA SE UTILIZAN BAJOS VOLTAJES, EL OSCILOGRAFO PUEDE SER CONECTADO DIRECTAMENTE AL DISPOSITIVO EN PRUEBA SIN QUE SE PRESENTEN PROBLEMAS EN LAS MEDICIONES. A VOLTAJES ELEVADOS, COMO LOS PRESENTES EN LA PRUEBA DE IMPULSOS, NO ES POSIBLE HACER LO MISMO, POR LO QUE ES NECESARIO BUSCAR UNA FORMA PARA REDUCIR LOS VOLTAJES GENERADOS DE MANERA QUE SE PUEDAN APLICAR LIBREMENTE AL DISPOSITIVO REGISTRADOR. ACTUALMENTE, EL MEDIO RECONOCIDO PARA DICHO FIN ES EL USO DE DIVISORES DE VOLTAJES POR MEDIO DE RESISTENCIAS.

LA TEORIA BASICA DE LOS DIVISORES DE RESISTENCIA, CONSISTE EN TENER UNA RESISTENCIA ELEVADA R_1 , EN SERIE CON UNA R_2 NO INDUCTIVA Y MAS PEQUEÑA, DE TAL MODO QUE LA MAYOR PARTE DEL VOLTAJE ESTE A TRAVES DE LA RESISTENCIA MAS GRANDE. LA RELACION DEL DIVISOR SERA ENTONCES R_2/R_1 , Y LA DIVISION DEL VOLTAJE SERA $R_2/R_1 + R_2$. ESTAS RELACIONES PUEDEN CONSIDERARSE APLICABLES INSTANTANEAMENTE A TODOS LOS VALORES DE PULSOS APLICADOS A LA PIEZA EN PRUEBA. EN OTRAS PALABRAS, EL DIVISOR DEBE SER POCO DISTORCIONABLE Y DE RADIO FIJO. BASANDOSE EN ESTO, LOS PULSOS ENVIADOS POR LOS CABLES DE SEÑALES, SON UNA PERFECTA COPIA DE LOS PULSOS INICIALES PERO DE UNA MAGNITUD MAS REDUCIDA. DADO QUE LOS PULSOS DE VOLTAJE SON ALTOS, LA LONGITUD DE LAS RESISTENCIAS R_1 , LO SUFICIENTEMENTE LARGAS PARA EVITAR LA POSIBILIDAD DE UN FLAMEO.

A MEDIDA QUE LAS CADENAS SE ALARGAN, LA CAPACITANCIA A TIERRA DEL DIVISOR AUMENTA. ESTA CAPACITANCIA A TIERRA CAUSA UNA DISTRIBUCION DE VOLTAJE NO UNIFORME A LO LARGO DEL DIVISOR (SIMILAR A LA DISTRIBUCION DE VOLTAJE NO LINEAL OBTENIDA EN EL

DEVANADO DEL TRANSFORMADOR POR LA PRESENCIA DE LA CAPACITANCIA A TIERRA), PRODUCIENDOSE UN PEQUEÑO AUMENTO DE VOLTAJE A LO LARGO DE LA RESISTENCIA R_2 . DE ESTA MANERA LA RELACION R_2/R_1 NO DA RESULTADOS EFECTIVOS. LA POSIBILIDAD DE UNA DISTRIBUCION DE VOLTAJES NO UNIFORME, HACE NECESARIO RECOMENDAR EL REDUCIR LOS VALORES DE LA RESISTENCIA R_1 , PARA ONDAS DE FRENTE MUY RAPIDO TALES COMO LAS DE FRENTE ESCARPADO Y SE RECOMIENDA TAMBIEN QUE CUANDO SE USEN DIVISORES DE VOLTAJES DE RESISTENCIA DEBE USARSE UN MINIMO AUMENTO DE RESISTENCIA POSIBLE. EN RESUMEN, LAS RESISTENCIAS USADAS EN TALES DIVISORES, APLICADAS A LAS PRUEBAS DE TRANSITORIOS DE ALTA VELOCIDAD, ESTAN SUJETOS A INFINIDAD DE RESTRICCIONES, IGNORADAS A BAJOS VOLTAJES Y APLICACIONES DE FRECUENCIAS, BREVEMENTE LAS RESTRICCIONES SON:

- 1.- LOS ELEMENTOS DEBEN SER NO INDUCTIVOS.
- 2.- SU CONSTRUCCION DEBE SER TAL QUE LOS EFECTOS DE CAPACITANCIAS DISTRIBUIDAS DEBE SER EL MINIMO O TOMADOS EN CUENTA PARA LA PRUEBA.
- 3.- LOS ACOPLAMIENTOS ELECTROESTATICO Y ELECTROMAGNETICO CON OTROS CIRCUITOS DEBE SER EL MINIMO.
- 4.- SU ESTRUCTURA DEBE ESTAR LIBRE DE EFECTO CORONA.
- 5.- SU ESTRUCTURA Y COMPONENTES DEBEN SER LO MAS APERIODICAS E INDEPENDIENTES (NO DEBEN TENER TENDENCIAS OSCILATORIAS).

EN EL ESQUEMA DE LA FIG. 10.4 SE REPRESENTA LA INICIACION, PRODUCCION Y CONTROL DE FORMA DE UN PULSO DE ALTO VOLTAJE, ESTE PULSO, YA CON SU FORMA REQUERIDA ES APLICADA A LA PIEZA EN PRUEBA, ES REDUCIDO EN MAGNITUD POR EL DIVISOR DE VOLTAJE Y A CONTINUACION APLICADO AL OSCILOGRAFO PARA LA MEDICION.

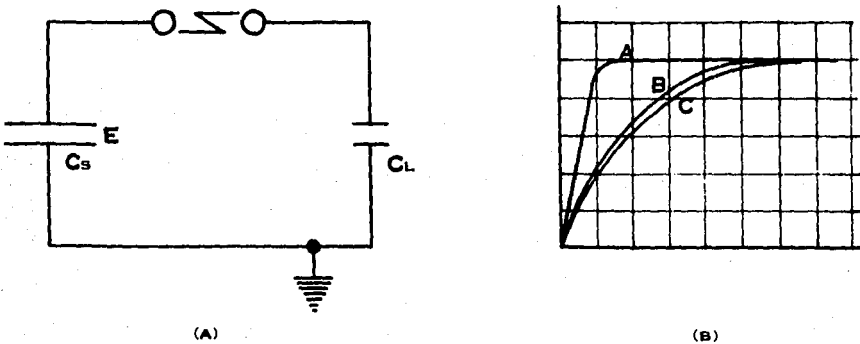


FIG. 8.4

EL DIVISOR DEBE SER COLOCADO TAN CERCA AL TRANSFORMADOR COMO FISICAMENTE SE PUEDA. LA RAZON PARA HACER ESTO, SE DEBE AL FENOMENO DE LAS ONDAS VIAJERAS.

AL LLEGAR UNA ONDA DE IMPULSO HASTA EL TRANSFORMADOR EN PRUEBA, EL VOLTAJE A LO LARGO DE EL SE ELEVA, Y AL MISMO TIEMPO, EL IMPULSO CONTINUA SU CAMINO, VIAJANDO POR LA LINEA HASTA LLEGAR AL DIVISOR DE VOLTAJE. A MEDIDA QUE EL VOLTAJE VIAJA A TRAVES DEL DIVISOR, SE PRODUCE EL FLAMEO EN LAS ESFERAS DEL GENERADOR Y EL VOLTAJE CAE A TIERRA A TRAVES DEL GENERADOR, PUESTO QUE TRANSCURRE ALGUN TIEMPO PARA QUE EL EFECTO DEL COLAPSO DE LA ONDA ALCANCE AL DIVISOR, ESTE DEBE INDICAR FORZOSAMENTE UN VOLTAJE MAS ALTO QUE EL DEL TRANSFORMADOR. POR LO TANTO PARA QUE DICHO EFECTO LLEGUE LO ANTES POSIBLE AL DIVISOR EL CABLE O CONDUCTOR QUE UNA EL DIVISOR, AL TRANSFORMADOR EN PRUEBA NO DEBE SER LARGO.

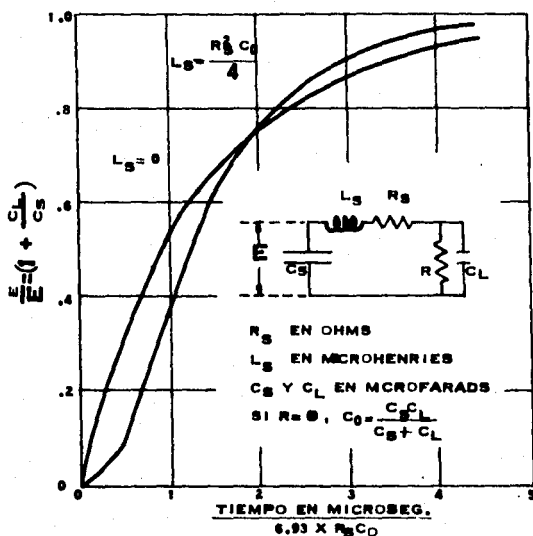


Fig. 94

UNA VEZ ACORDADO QUE EL DIVISOR DE VOLTAJE DEBE SER LOCALIZADO CERCA DEL TRANSFORMADOR Y PUESTO QUE EL TRANSFORMADOR NO NECESARIAMENTE DEBE SER COLOCADO CERCA DE LA CASETA DE CONTROL, LA FORMA DE CONECTAR LA TERMINAL DE BAJO VOLTAJE DEL DIVISOR DE RESISTENCIAS AL OSCILOGRAFO, DEBE SER DESCRITA. ESTA CONEXION SE HACE CON UN CABLE CUYA IMPEDANCIA CARACTERISTICA DEBE SER IGUAL A 73 OHMS, LO QUE SIGNIFICA QUE UNA ONDA DESLIZANDOSE DENTRO DE UNA LONGITUD DE CABLE INFINITA SIENTA UNA

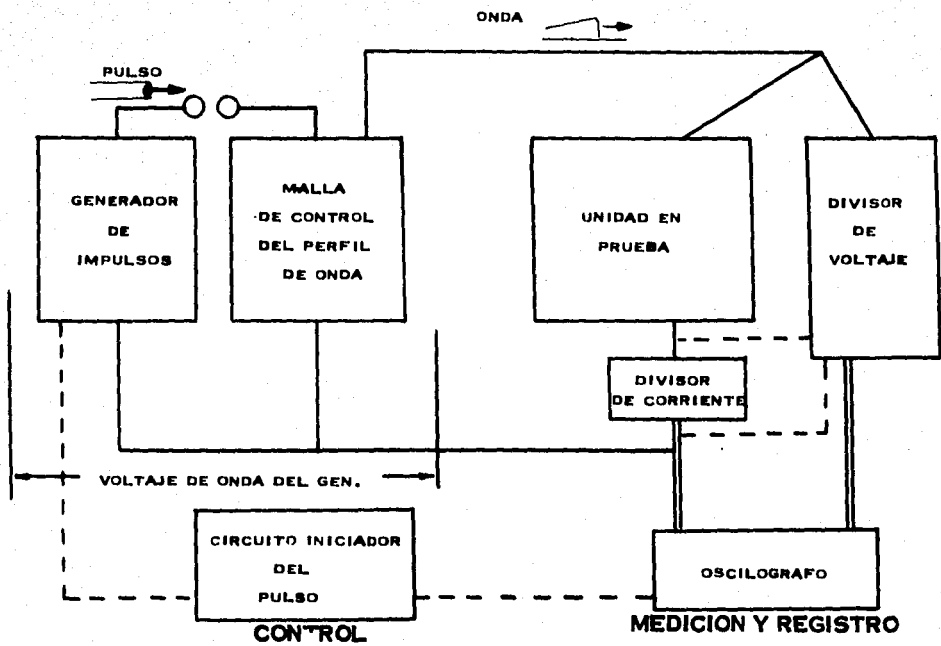


FIG. 10.4.- GENERACION DE LA ONDA, MEDICION Y REGISTRO

RESISTENCIA DE CARGA DE 73 OHMS A TRAVES DE DICHO CABLE.

LA FIG. 11.4 MUESTRA EL CIRCUITO EMPLEADO PARA ENVIAR LA SEÑAL DE VOLTAJE HASTA EL OSCILOSCOPIO A TRAVES DEL DIVISOR DE RESISTENCIA Y DEL CABLE COAXIAL MENCIONADO ANTERIORMENTE. LA SENSIBILIDAD CON QUE ESTA SEÑAL ES PERCIBIDA EN EL OSCILOSCOPIO DEPENDE DE LAS RESISTENCIAS O IMPEDANCIAS DEL CIRCUITO, ADEMAS DE LAS CONSTANTES EXISTENTES EN EL MISMO OSCILOGRAFO.

UN METODO PARA CALCULAR LA SENSIBILIDAD DEL SISTEMA DE MEDICION DEL VOLTAJE ES EL SIGUIENTE:

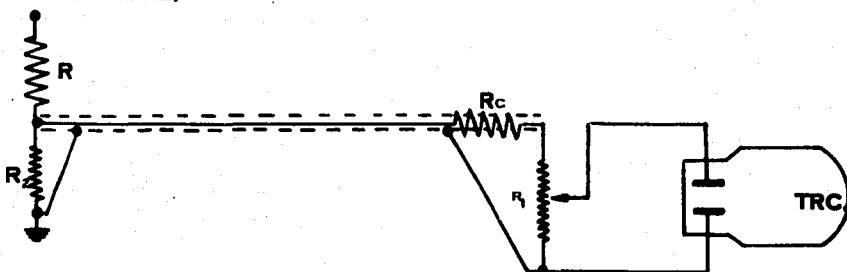


FIG. 11.4

$$\text{SENSIBILIDAD (KV./CM.)} = \frac{S \text{ (VOLTS/CM.)}}{1000} \times \frac{R + \frac{R_2 \times Z}{R_2 + Z}}{\frac{R_2 \times Z}{R_2 + Z}} \times \frac{R_1 + R_c}{R_1} \times \frac{100}{A}$$

EN DONDE:

- S SENSIBILIDAD DEL TUBO DE RAYOS CATODICOS (VOLTS POR CM.).
- R DIVISOR DE RESISTENCIA.
- R₁ RESISTENCIA TERMINAL EN EL OSCILOSCOPIO.
- R₂ RESISTENCIA PARALELO AL PRINCIPIO DEL CABLE COAXIAL.
- R_C RESISTENCIA DE C.D. DEL CABLE COAXIAL.
- Z IMPEDANCIA CARACTERISTICA DEL CABLE COAXIAL.
- A POSICION DEL PORCIENTO DE SEÑAL VERTICAL

SI R₂ NO EXISTE:

$$\text{SENSIBILIDAD (KV./CM.)} = \frac{S \text{ (VOLTS/CM.)}}{1000} \times \frac{R+Z}{Z} \times \frac{R_1 + R_c}{R_1} \times \frac{100}{A}$$

LOS CABLES DE SEÑALES USADOS PARA CONducIR LOS TRANSITORIOS DESDE PUNTOS REMOTOS HASTA EL OSCILOGRAFO OPERAN SOBRE CIERTAS RESTRICCIONES. ESTAN HECHOS PARA TRANSPORTAR TRANSITORIOS HASTA DE TRES MIL VOLTS COMO MAXIMO. ESTE VOLTAJE PUEDE OCURRIR A TRAVES DE UN DERIVADOR DE CORRIENTE, DE UN DIVISOR DE VOLTAJES U OTRAS PARTES DEL CIRCUITO ESTUDIADO.

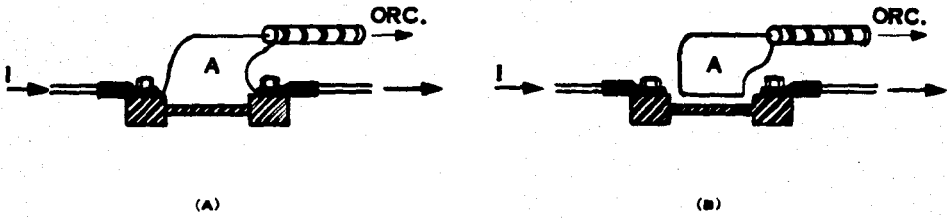


Fig. 12.4-A

(A).- EJEMPLO DE UNA POBRE APLICACION DE LOS PRINCIPIOS PARA LA MEDICION DE CORRIENTES DE IMPULSO.

- 1.- EL AREA ENCERRADA A ES DEMASIADO GRANDE.
- 2.- EL DERIVADOR DE CORRIENTE ES INDUCTIVO.

(B).- EL FLUJO DISPERSO EN EL AREA A PUEDE INDUCIR UN VOLTAJE EN EL ORC. DE DIFERENTE PERFIL DE ONDA Y SU AMPLITUD PUEDE SER UN POCO MAYOR PARA ALGUNAS FORMAS DE ONDAS DE IMPULSO.

NINGUNA DE LAS DOS FORMAS SON APLICABLES EN LAS MEDICIONES DE CORRIENTE.

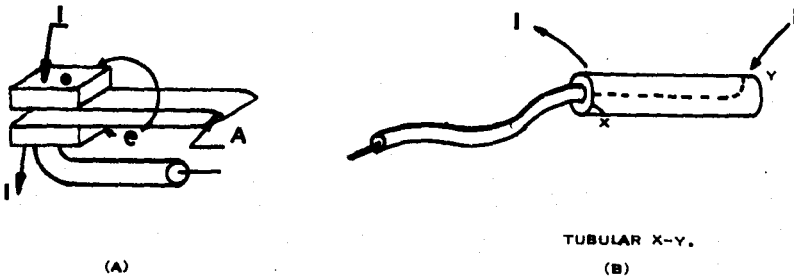


Fig. 12.-B.

DOS FORMAS DE DERIVADORES DE CORRIENTE FRECUENTEMENTE UTILIZADAS.

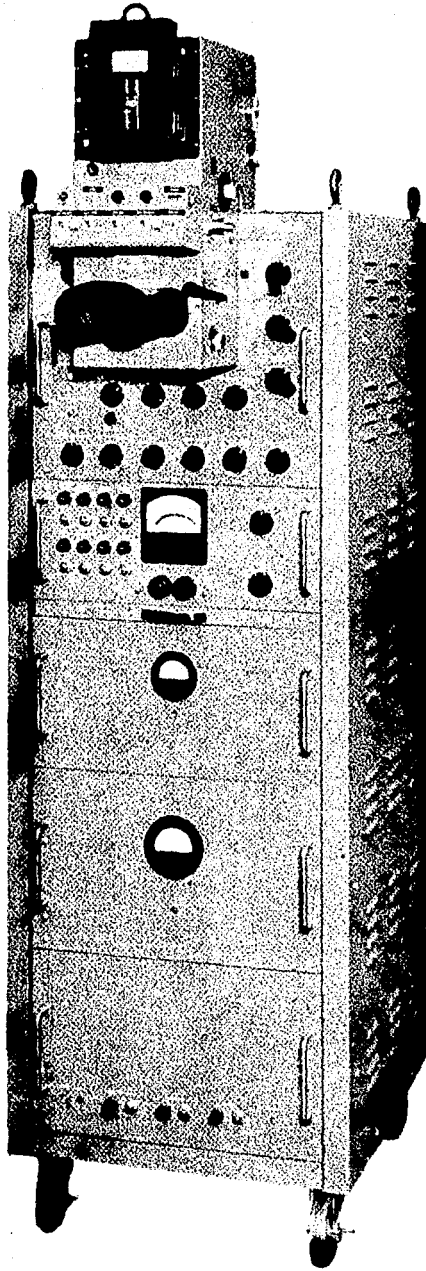


FOTO No. 5
OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS DUMONT TIPO 293.

DERIVADORES DE CORRIENTE.- ASI COMO LOS DERIVADORES DE VOLTAJE SE UTILIZAN PARA DISMINUIR LA INTENSIDAD DEL PULSO Y PODER DE ESTA MANERA CAPTARLA Y REGISTRARLA CON EL OSCILOGRAFO, SE UTILIZAN PEQUEÑAS RESISTENCIAS CONECTADAS A TIERRA PARA REGISTRAR LAS ONDAS DE CORRIENTE A TRAVES DEL DEVANADO DE UN TRANSFORMADOR, PRODUCIDAS POR EL MISMO PULSO.

EN EL ESQUEMA DE LA FIG. 10,4 SE MUESTRA LA CONEXION DEL DERIVADOR DE CORRIENTE CON EL OSCILOGRAFO. SI LOS DERIVADORES DE CORRIENTE SON CONSTRUIDOS DE TAL MODO QUE SEAN UNA RESISTENCIA PURA, EL VOLTAJE A TRAVES DE ELLOS Y POSIBLEMENTE A TRAVES DE LAS PLACAS DEFLECTORAS DEL OSCILOSCOPIO, PUEDE SER PROPORCIONAL AL FLUJO DE CORRIENTE QUE FLUYA A TRAVES DEL DERIVADOR. ESTA ES LA CONDICION IDEAL. CUANDO EN EL DISEÑO DE LAS RESISTENCIAS DERIVADORAS NO SE TOMAN LAS PRECAUCIONES DEBIDAS, LA PRESENCIA DE PEQUEÑAS INDUCTANCIAS PUEDE OCASIONAR QUE LAS CORRIENTES REGISTRADAS EN EL OSCILOSCOPIO PAREZCAN MAS GRANDES QUE LO QUE EN REALIDAD SON Y QUE LAS ONDAS DE CORRIENTE SEAN MUY ESCARPADAS.

EN LA FIG. 12,4 SE MUESTRAN DOS ESQUEMAS, EL ESQUEMA 12,4 A ES UN EJEMPLO DE UNA POBRE APLICACION DE LOS PRINCIPIOS DE LA MEDICION DE CORRIENTES DE IMPULSO, LA CARACTERISTICA SALIENTE DE UNA BUENA INSTALACION CON ESTE TIPO DE DERIVADORES ES LA AUSENCIA DE EL AREA ENCERRADA (FIG. 12,4 B), EN LA TRAYECTORIA DE LA CORRIENTE A TRAVES DEL DERIVADOR.

DE LO ANTERIOR PARECE OBRIO QUE LA CORRIENTE A TRAVES DEL DEVANADO, CAUSE UN VOLTAJE QUE SE REFLEJA A LO LARGO DE LA RESISTENCIA, QUE A SU TURNO SEA TRANSMITIDO A LAS PLACAS DEL OSCILOSCOPIO A TRAVES DEL CABLE DE MEDICION. ESTE METODO, ES SUBAMENTE PROVECHOSO Y POR DEMAS MANDATARIO PARA TODOTIPO DE DETECCION DE FALLAS, PERO TIENE LA GRAN DESVENTAJA DE SER MUY SUSCEPTIBLE A DISTURBIOS DE TIERRA. DEBIDO A LA PRESENCIA DE ESTOS DISTURBIOS UNA PRUEBA DE IMPULSOS DEBE SER REPETIDA POR VARIOS DIAS ANTES DE PODER ELIMINARLOS. POR LO QUE PARA PRUEBAS COMERCIALES, LA MAYORIA DE LAS ASOCIACIONES NO INCLUYEN EN SUS NORMAS ESTA PRUEBA.

EL OSCILOGRAFO.

EL OSCILOGRAFO COMO DISPOSITIVO ACOPLADO AL GENERADOR DE IMPULSOS.- EN LA SECCION ANTERIOR FUERON DISCUTIDOS LOS CIRCUITOS DEL GENERADOR, SU OPERACION Y COMO VARIANDO SUS CONSTANTES, EL PERFIL DE UNA ONDA DE IMPULSO PUEDE CONTROLARSE. DADO QUE LAS PRUEBAS DE IMPULSOS ESPECIFICAN QUE CIERTAS ONDAS DE CIERTAS MAGNITUDES DE VOLTAJE DEBEN SER APLICADAS A LOS TRANSFORMADORES, LA NECESIDAD DE CERCIONARSE DE QUE EFECTIVAMENTE LA PRUEBA SE REALICE DEBIDAMENTE, HA HECHO NECESARIO REGISTRAR POR ALGUN METODO, LOS IMPULSOS QUE SON APLICADOS A LOS DISPOSITIVOS EN PRUEBA. UNO DE LOS MEDIOS ACEPTADOS ES EL USO DEL OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS QUE TIENE UNA TREMENDA RAPIDEZ DE IMPRESION.

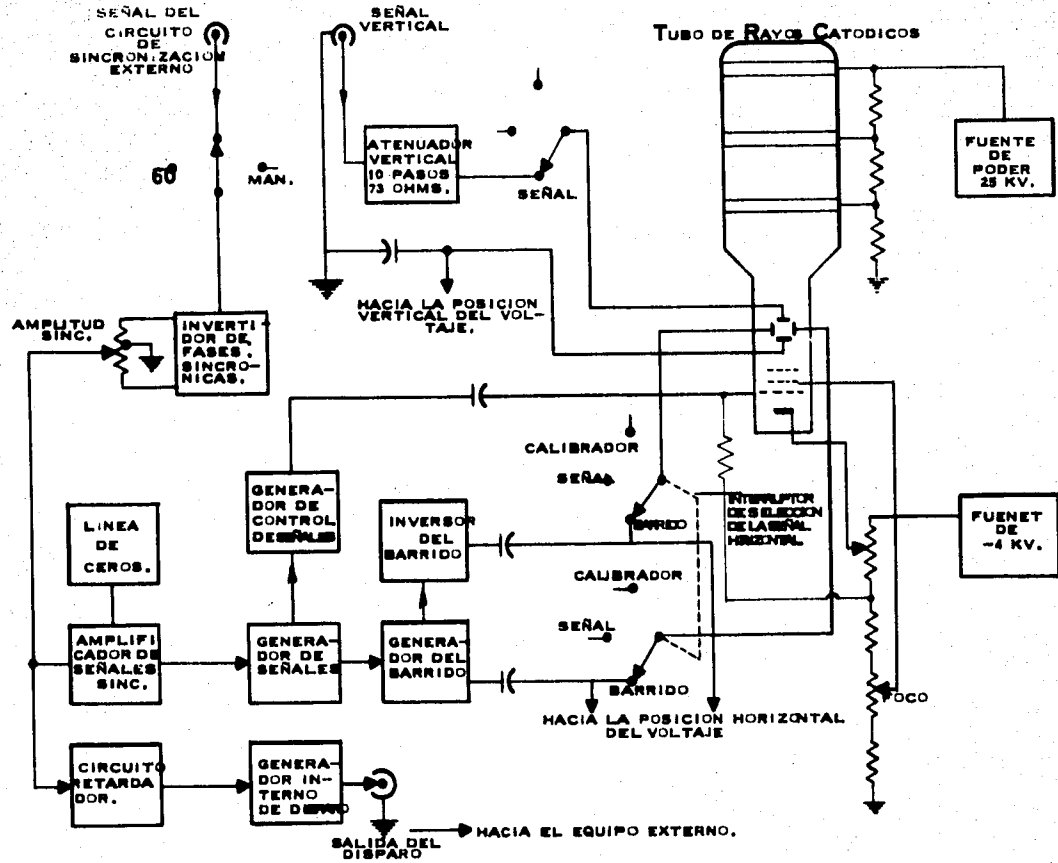


Fig. 13.4 DIAGRAMA ESQUEMATICO SIMPLIFICADO DEL OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS

ESTOS OSCILOGRAFOS SON GENERALMENTE DISEÑADOS PARA SATISFACER LA NECESIDAD QUE TIENE LA FUENTE DE POTENCIA ELECTRICA, DE UNA UNIDAD COMPACTA Y VERSATIL QUE - PUEDA REGISTRAR SEPARADA O SIMULTANEAMENTE LAS ONDAS DE VOLTAJE Y DE CORRIENTE -- OBTENIDAS DEL EQUIPO AL QUE SE LE APLICAN IMPULSOS DE ALTA AMPLITUD Y ELEVADA RELACION DE AUMENTO DE VOLTAJE.

EL DISEÑO DE ESTOS APARATOS, PARTICULARMENTE LOS EMPLEADOS PARA REGISTRAR LOS IMPULSOS APLICADOS A LOS DISPOSITIVOS ELECTRICOS, SE HACE PRESENTANDO UNA ATENCION ESPECIFICA A SU ADAPTABILIDAD Y FACILIDAD PARA INCORPORARSE CON LOS CIRCUITOS - REQUERIDOS.

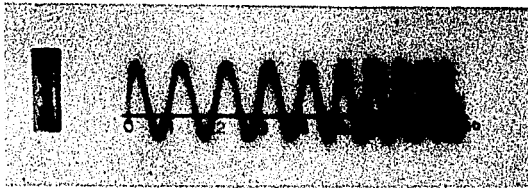
LAS INFORMACIONES OBTENIDAS DEL OSCILOSCOPIO, PUEDEN SER IMPRESAS EN PELICULA GRACIAS A LA ADAPTACION DE UNA CAMARA FOTOGRAFICA ADAPTADA AL OSCILOGRAFO.

DESCRIPCION ELECTRICA.- LA SIGUIENTE EXPLICACION ESTA BASADA EN EL DIAGRAMA ESQUEMATICO SIMPLIFICADO DE LA FIG. 13.4 TOMADO DE UN OSCILOGRAFO DU MONT - TIPO 293.

CUANDO LA UNIDAD ESTA SIENDO OPERADA EN SU APLICACION MAS COMUN, UNA MUESTRA ATENUADA DEL PULSO DE VOLTAJE SE INTRODUCE AL EJE VERTICAL DEL OSCILOSCOPIO. - DE ESTA TERMINAL LA SEÑAL PASA A UN ATENUADOR DE 10 PASOS, 73 OHMS, EL CUAL CONTROLA EL PORCIENTO DE SEÑAL VERTICAL. LUEGO, LA SEÑAL ES APLICADA A UNA DE LAS PLACAS DE DEFLEXION VERTICAL DEL TUBO DE RAYOS CATODICOS. LA OTRA PLACA DEFLECTORA - VERTICAL TIENE APLICADA A ELLA UN VOLTAJE DE CORRIENTE DIRECTA PARA PERMITIR LA POSICION VERTICAL DE LOS HACES LUMINOSOS.

CON EL FIN DE QUE LA SEÑAL PERCIBIDA EN EL CANAL VERTICAL SE MANIFIESTE PROPIAMENTE, UN GENERADOR DE BARRIDO ES EMPLEADO PARA PRODUCIR BARRIDOS SEMI-LOGARITMICOS DE LOS HACES LUMINOSOS DIRIGIDOS, CUYA VELOCIDAD DE BARRIDO EN EL PRIMER 10% DEL MISMO ES DOS VECES TAN RAPIDO COMO LO ES EN EL ULTIMO 10%. LAS DURACIONES DEL BARRIDO TIENEN UN RANGO DE 0,5, 2,5, 10, 50, 250 Y 1,000 MICROSEGUNDOS. EL BARRIDO - PUEDE SER RETARDADO EN EL RANGO DE 0,5 A 15 MICROSEGUNDOS POR MEDIO DE UN CIRCUITO RETARDADOR INTERNO.

SI SE DESEA EMPEZAR EL BARRIDO CON UNA SEÑAL DE IMPULSO INICIADA POR UN CIRCUITO INDEPENDIENTE DEL OSCILOGRAFO, UN SELECTOR DE SEÑALES SE SITUA EN LA POSICION QUE INDIQUE "SEÑALES EXTERNAS". LA SEÑAL VIAJA A TRAVES DE UN CIRCUITO SINCRONIZADOR QUE CONSTA DE UN INVERSOR Y UN AMPLIFICADOR DE SEÑALES HASTA UN GENERADOR CUYO PROPOSITO ES EL FORMAR UNA ONDA RECTANGULAR NEGATIVA PARA INICIAR EL BARRIDO (GENERADOR DE BARRIDO FIG. 13.4) AL MISMO TIEMPO PARA INICIAR EL CAÑONEO DE ELECTRONES EN EL TUBO DE RAYOS CATODICOS (GENERADOR DE ELECTRONES). LA SALIDA DEL GENERADOR DEL BARRIDO ES ALIMENTADO DIRECTAMENTE A UNA DE LAS PLACAS DE DEFLEXION HORIZONTAL Y



**BARRIDO 10 MICROSEGUNDOS
FRECUENCIA 1 Mc SEGUNDOS.**

FIG. 14-A.



**BARRIDO 50 MICROSEGUNDOS
FRECUENCIA 100 Mc SEG.**

FIG. 14-B.

SIMULTANEAMENTE ES INVERTIDA POR EL INVERSOR DE FASE Y APLICADA A LA OTRA PLACA DE DEFLEXION HORIZONTAL DE TAL MANERA QUE SE OBTIENE UN BARRIDO BALANCEADO. UN VOLTAJE DE CORRIENTE DIRECTA BALANCEADO, APLICADO A AMBAS PLACAS DE DEFLEXION HORIZONTAL PROVEE LA POSICION HORIZONTAL DE LOS HACES LUMINOSOS.

CON EL OBJETO DE OBTENER CIERTA FLEXIBILIDAD DE OPERACION, OTROS METODOS PARA PONER EN OPERACION EL EQUIPO SON EMPLEADOS. ALGUNOS DE ELLOS PUEDEN DENOMINAR SE A GROSSO MODO COMO SIGUE:

10.- EL DISPARO DEL GENERADOR DE IMPULSOS SE PUEDE EFECTUAR DESDE EL OSCILOGRAFO POR MEDIO DE UN DISPOSITIVO EN EL TABLERO DE CONTROL. ESTE DISPOSITIVO HACE QUE UN TUBO THYRATRON DEL CIRCUITO INTERNO SE DISPARE Y PREPARE EL EQUIPO SIMULTANEAMENTE CON EL PULSO, PARA ADMITIR LA ENTRADA DE LA SEÑAL.

20.- CUANDO EL OPERADOR SINCRONICO DEL OSCILOGRAFO ES SITUADO EN LA POSICION DE 60 CICLOS, UN DISPOSITIVO DERIVADO DE UN CIRCUITO CAMBIADOR DE FASE DE 60 CICLOS ES USADO PARA DISPARAR EL THYRATRON, INICIANDO EL DISPARO QUE ACCIONA AL GENERADOR DE BARRIDO Y AL GENERADOR DE DISPAROS DESDE EL INTERIOR DEL OSCILOGRAFO.

TAMBIEN ES POSIBLE INTRODUCIR UNA SEÑAL EN EL EJE X SIMULTANEAMENTE CON LA APLICACION DE LA SEÑAL AL EJE Y. PARA ESTO, EL INTERRUPTOR DE SELECCION HORIZONTAL QUE ANTES ESTABA EN LA POSICION DE "BARRIDO" SE COLOCA EN LA POSICION DE "SEÑAL", Y LA SEÑAL SE INTRODUCE ADEMAS A TRAVES DE UNA LINEA DE RETARDO Y UN ATENUADOR -- IDENTICOS A AQUELLOS VISTOS PARA LA SEÑAL VERTICAL O DIRECTAMENTE A TRAVES DEL ATENUADOR A LAS PLACAS DE DEFLEXION SIN PASAR POR EL CIRCUITO RETARDADOR.

EL OSCILOGRAFO CUENTA ADEMAS CON UN CIRCUITO INTERNO QUE PROPORCIONA ONDAS SENOIDALES A DIFERENTES AMPLITUDES TALES COMO 0.05, 0.1, 1, 10 Y 100 MICROSEGUNDOS QUE SON APLICADAS A LAS PLACAS DE DEFLEXION VERTICAL PARA LA CALIBRACION DEL TIEMPO DE REGISTRO. EN LAS FIGS. 14.4 A Y 14.4 B SE MUESTRAN LAS GRAFICAS Y TIEMPOS REGISTRADOS DURANTE UNA CALIBRACION DEL OSCILOGRAFO.

UN CALIBRADOR DE VOLTAJE ES MUY UTIL EN AQUELLAS UNIDADES SELECCIONADAS PARA APLICAR VOLTAJES DE CORRIENTE DIRECTA A UNA DE LAS PLACAS DEFLECTORAS YA SEA LA VERTICAL O LA HORIZONTAL, LA OTRA PLACA VIENE SIENDO USADA PARA DIRIGIR LA POSICION DE LOS HACES LUMINOSOS. LA SALIDA DE ESTE CALIBRADOR TIENE UN RANGO DE VARIACION DE 0 A -1,000 VOLTS. UN EJEMPLO DE ESTO, PUEDE APRECIARSE EN LA FIG. 15.4 EN EL QUE EL VOLTAJE DE CALIBRACION FUE LEIDO EN UN VOLTMETRO LOCALIZADO EN EL TABLERO DE CONTROL DEL OSCILOGRAFO.

OPERACION DEL OSCILOGRAFO.- ANTES DE APLICAR LA ENERGIA A UN OSCILO

COPIO, SE RECOMIENDA QUE EL CONTROL DE INTENSIDAD SEA PUESTO EN CERO. ESTO EVITA

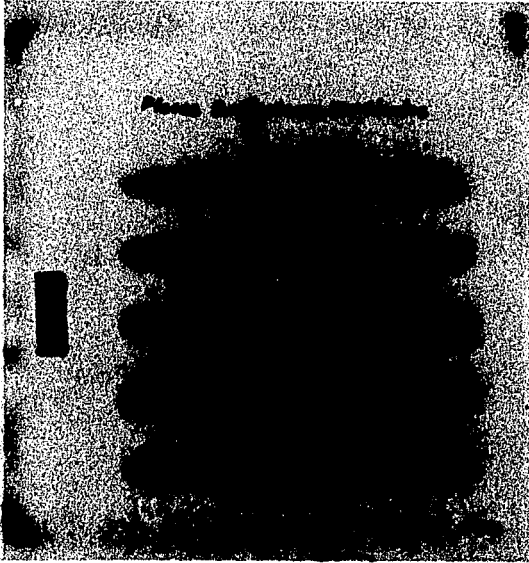


Fig. 15.4

QUE LA PANTALLA DEL TUBO DE RAYOS CATODICOS SEA QUEMADA. POR LO TANTO, SI EXISTE - LA POSIBILIDAD DE QUE LOS CONTROLES SEAN MOVIDOS DE SUS POSICIONES NORMALES, DEBE PREVEERSE QUE DICHO CONTROL ESTE EN CERO ANTES DE ENCENDER EL EQUIPO. NO DEBE DE JARSE DE TOMAR EN CONSIDERACION, QUE LOS TUBOS DE RAYOS CATODICOS SON COSTOSOS Y - DIFICILES DE REEMPLAZAR Y QUE CON UN CUIDADO APROPIADO, SUS HORAS DE VIDA UTIL SE - ELEVAN VENTAJOSAMENTE.

DESPUES DE LO ANTERIOR LO QUE SE HACE ES SUMINISTRAR LA ENERGIA AL APARATO. HAY DOS INTERRUPTORES DE POTENCIA PARA CONTROLAR LA APLICACION DE ENERGIA A LOS - - OSCILOGRAFOS. UNO DE LOS INTERRUPTORES CONTROLA LA ENERGIA EN LOS FILAMENTOS Y EL OTRO LA APLICACION DEL VOLTAJE A LAS PLACAS. AMBOS INTERRUPTORES PUEDEN ACCIONAR-

SE SIMULTANEAMENTE YA QUE POR LA PRESENCIA DEL CIRCUITO RETARDADOR, SE EVITA LA APLICACION INMEDIATA DEL VOLTAJE A LAS PLACAS Y NO ES SINO HASTA DESPUES DE 50 SEGUNDOS QUE UNA LAMPARA INDICADORA AVISA QUE EL VOLTAJE APLICADO SE ENCUENTRA YA SUMINISTRANDOSE A LAS PLACAS.

TIPOS DE OPERACION.- LOS TIPOS DE OPERACION DE UN OSCILOGRAFO SE REDUCEN A AQUELLAS QUE SE REQUIEREN EN LAS PRUEBAS DE IMPULSOS, PUDIENDO CATALOGARSE - COMO SIGUE:

- A).- UN TRAZO DE VOLTAJE CONTRA TIEMPO.
- B).- UN TRAZO DE CORRIENTE CONTRA TIEMPO.
- C).- UN TRAZO DE VOLTAJE CONTRA CORRIENTE.

EL SIGUIENTE PARRAFO SE HACE CON LA INTENCION DE DESCRIBIR PASO POR PASO LA SECUENCIA SEGUIDA PARA ASEGURAR LA CORRECTA OPERACION DEL EQUIPO Y OBTENER EL TRAZO DE UNA ONDA DE IMPULSO, TENIENDO EL VOLTAJE Y TIEMPO COMO COORDINADAS. COMO - ACLARACION PUEDE DECIRSE QUE DICHO TRAZO SE OBTIENE DE UNA SEÑAL PROVENIENTE DE UN DISPARO DEL GENERADOR DE IMPULSOS AJENA AL OSCILOGRAFO. LA OPERACION ENUNCIADA ES TA BASADA EN UN OSCILOGRAFO Du MONT TIPO 293.

- 1.- SE CONECTA EL CABLE COAXIAL DE SEÑAL SINCRONIZADA A SU CLAVIJA CORRESPONDIENTE.
- 2.- SE CONECTA EL CABLE DE SEÑAL DE IMPULSO A LA CLAVIJA DE SEÑAL VERTICAL.
- 3.- SE SITUA LOS INTERRUPTORES DE FILAMENTOS Y PLACAS EN SU POSICION DE ENCENDIDO.
- 4.- SE SITUA EL SELECTOR DEL PORCIENTO DE SEÑAL VERTICAL EN UNA POSICION PROPIA AL NIVEL DE LA SEÑAL DE ENTRADA.
- 5.- SE AJUSTA EL CONTROL DE INTENSIDAD LUMINOSA DEL TUBO DE RAYOS CATODICOS O UN VALOR APROPIADO.
- 6.- SE COLOCA EL SELECTOR DE SINCRONIZACION EN LA POSICION DE "MANUAL" CON EL FIN DE PODER PRECISAR LOS TRAZOS LUMINOSOS PARA EL AJUSTE.
- 7.- SE COLOCA EL SELECTOR HORIZONTAL EN LA POSICION DE "BARRIDO".
- 8.- SE SELECCIONA EL RANGO DE BARRIDO PARA REGISTRAR EL INTERVALO DE TIEMPO

REQUERIDO. (RECUERDESE QUE DICHO RANGO VARIA DE 0,5 A 1,000 MICROSEGUNDOS).

- 9.- SE COLOCA EL CONTROL DE AMPLITUD EN LA POSICION ± 0 - DEPENDIENDO DE LA POLARIDAD DE LA SEÑAL DE ENTRADA.
- 10.- SE COLOCA EL INTERRUPTOR DE RETARDAMIENTO EN LA POSICION "DISPARO".
- 11.- PRESIONESE EL CONTROL DE DISPARO MANUAL Y OBSERVESE EL TRAZO.
- 12.- SE AJUSTA EL CONTROL DE LA POSICION HORIZONTAL DE TAL MODO QUE EL TRAZO SE CENTRE EN LA PANTALLA DEL TUBO DE RAYOS CATODICOS.
- 13.- LA FRECUENCIA MARCADA DEBE ESTAR EN UNA POSICION COMPATIBLE CON LA VELOCIDAD DE BARRIDO.
- 14.- SE AJUSTA EL CONTROL DE LA POSICION VERTICAL CENTRANDO EL TRAZO VERTICALMENTE.
- 15.- SE AFOCA EL TRAZO.
- 16.- SE SITUA EL TRAZO VERTICAL UNA PULGADA ABAJO O ARRIBA DEL CENTRO DE LA PANTALLA DEPENDIENDO DE LA POLARIDAD DE LA SEÑAL DE ENTRADA.
- 17.- SE AJUSTA EL CONTROL DE INTENSIDAD PARA OBTENER UNA BRILLANTEZ COMPATIBLE CON LA RAPIDEZ DEL BARRIDO UTILIZADO.
- 18.- SE COLOCA EL SELECTOR VERTICAL EN LA POSICION DE "SEÑAL" Y EL SELECTOR DE SINCRONIZACION EN LA POSICION DE "SEÑAL EXTERNA".
- 19.- PREPARESE EL DISPARO DEL GENERADOR DE IMPULSOS.
- 20.- SE ABRE EL OBTURADOR DE LA CAMARA ACOPLADA AL OSCILOGRAFO Y SE CIERRA - DESPUES DE CADA UNA DE LAS OPERACIONES DESCRITAS.
- 21.- SE DISPARA EL GENERADOR DE IMPULSOS.
- 22.- SE COLOCA EL SELECTOR DE SINCRONIZACION EN POSICION MANUAL PARA EL USO DEL "DISPARADOR MANUAL".
- 23.- SE REGISTRA LA LINEA DE LOS "CEROS" OPRIMIENDO EL BOTON CORRESPONDIENTE.
- 24.- SE COLOCA EL SELECTOR VERTICAL EN LA POSICION "CALIBRADOR" Y SE REGIS-

TRA EL VOLTAJE DE CALIBRACION QUE SE OBTIENE CON EL VOLTMETRO DEL TABLE
RO DE CONTROL.

25.- SE COLOCA EL SELECTOR VERTICAL EN LA POSICION DE "FRECUENCIA MARCADA" Y
SE REGISTRA.

26.- LOS DATOS OBTENIDOS DE LA FOTOGRAFIA DEBEN REGISTRARSE, Y POR ULTIMO

27.- AVANCESE LA PELICULA DE LA CAMARA PREPARANDOLA PARA LA SIGUIENTE TOMA.

EL ESTUDIO DE LOS OSCILOGRAMAS ASI OBTENIDO DEBEN HACERSE MINUCIOSAMENTE -
ANALIZANDO LOS PERFILES DE LAS CURVAS Y VER SI HAY ALGUN DISTURBIO Y AL MISMO TIEM
PO DEBE COMPROBARSE QUE LOS VALORES OBTENIDOS EN LAS FOTOGRAFIAS CUMPLEN CON LAS
ESPECIFICADAS POR LAS NORMAS.

SI LA UNIDAD PROBADA PASA CORRECTAMENTE LAS PRUEBAS AQUI ANALIZADAS PUEDE
CONSIDERARSE BUENA PARA EL SERVICIO.

CONCLUSIONES.

LAS PRUEBAS ESTUDIADAS EN EL PRESENTE TRABAJO HAN PROBADO SER DE SUMA UTILIDAD EN LA CLASIFICACION DE LA CALIDAD DEL AISLAMIENTO DE LOS DEVANADOS DE LOS TRANSFORMADORES ASI COMO DE TODAS LAS PARTES QUE CONSTITUYEN SU ESTRUCTURA DIELECTRICA TALES COMO SOQUILLAS, ACEITE, ETC.

DE UNA SIMPLE MEDICION DE LECTURAS, ES POSIBLE DETERMINAR LA LOCALIZACION DE DEBILITAMIENTOS DEL AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES.

ADEMAS DE LOCALIZAR DICHOS DEBILITAMIENTOS ES POSIBLE VALUAR LA NATURALEZA O LA SEVERIDAD DEL DETERIORO OCURRIDO ASI COMO LAS CONDICIONES ELECTRICAS CON QUE ENTRARA EN SERVICIO.

LAS PRUEBAS DEL FACTOR DE POTENCIA POR CUALQUIERA DE LOS METODOS ESTUDIADOS, PREVIENEN O RETARDAN BENEFICIOSAMENTE EL DETERIORO DEL AISLAMIENTO.

QUEDA ESTABLECIDO QUE EL FACTOR DE POTENCIA VARIA CON LA HUMEDAD. SI ESTA AUMENTA, EL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA SE ELEVA.

SEGUN LAS PRUEBAS REALIZADAS, EL FACTOR DE POTENCIA PERMANECE CONSTANTE ANTES Y DESPUES DE LAS PRUEBAS DIELECTRICAS DESTRUCTIVAS.

EL USO DE LOS APARATOS Y METODOS ESTUDIADOS HACEN POSIBLE LA MEDICION DEL FACTOR DE POTENCIA, PERDIDAS DIELECTRICAS Y CAPACITANCIAS PARA CUALQUIERA QUE SEA EL NIVEL DE AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR PROBADO.

LA PRUEBA DEL FACTOR DE POTENCIA TIENE SU PRINCIPAL APLICACION EN APARATOS PUESTOS EN SERVICIO Y ES DE RELATIVA IMPORTANCIA EN APARATOS NUEVOS.

LA RAZON PARA LA CONCLUSION ANTERIOR PUEDE SER LA SIGUIENTE:

EN UNA FABRICA, LA PRUEBA DEL FACTOR DE POTENCIA SIRVE PARA COMPROBAR QUE LOS PROCESOS DE SECADOS HAN SIDO CORRECTAMENTE REALIZADOS, E INDICAN SI LAS PRUEBAS DIELECTRICAS DISRUPTIVAS DE POTENCIAL APLICADO, DE POTENCIAL INDUCIDO O DE IMPULSO, QUE SON LAS PRUEBAS QUE VERIFICAN Y CHECAN EL DISEÑO DEL AISLAMIENTO, MANO DE OBRA, MATERIALES, ETC., Y QUE ESTABLECEN EL NIVEL DE AISLAMIENTO DEL APARATO, PUEDEN SER REALIZADAS.

EN SERVICIO, TOMANDO EN CUENTA QUE LOS AISLAMIENTOS TIENEN UNA CIERTA VIDA AUN A TRABAJO NORMAL, LAS PRUEBAS DEL FACTOR DE POTENCIA AYUDAN A PREVENIR DAÑOS - CAUSADOS PROBABLEMENTE POR LA INMIGRACION DE AGENTES EXTRAÑOS AL AISLAMIENTO EN SI Y POR LO TANTO, ALARGAN LA VIDA DEL TRANSFORMADOR.

ES POR LO TANTO RECOMENDABLE, QUE LOS TRANSFORMADORES PUESTOS EN SERVICIO TENGAN UN MANTENIMIENTO APROPIADO POR MEDIO DE PRUEBAS DEL FACTOR DE POTENCIA A INTERVALOS ACEPTABLES QUE SEGUN LOS INVESTIGADORES NO DEBEN EXCEDER DE UN AÑO.

EN CASO DE QUE EL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN TRANSFORMADOR EN SERVICIO SEA MUY DIFERENTE DEL ORIGINAL DADO POR EL MANUFACTURERO Y SE SOSPECHE QUE PUEDE DAñar PERJUDICIAL PARA EL APARATO, DEBE ANALIZARSE LA CONVENIENCIA DE EFECTUAR AL MISMO, UN TRATAMIENTO ADECUADO SEGUN LOS MEDIOS CON QUE SE CUENTEN Y SI ESTOS NO SON LOS INDISPENSABLES, VER EL ASPECTO ECONOMICO Y DETERMINAR SI CONVIENE ENVIARSE A UN LUGAR APROPIADO A QUE SE LE HAGA EL SERVICIO.

LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS AISLAMIENTOS SE VE AFECTADA POR EL TIEMPO, LA FRECUENCIA Y EL VOLTAJE APLICADO.

SEGUN LOS REQUERIMIENTOS ELECTRICOS LOS AISLAMIENTOS SOLIDOS CONSTITUYEN EL MEJOR DIELECTRICO PERO COMO SU CONDUCTIVIDAD TERMICA ES POBRE ES NECESARIO COMBINARLA CON AISLAMIENTOS LIQUIDOS. ESTA COMBINACION CONSTITUYE LA ESTRUCTURA DIELECTRICA.

LOS AISLAMIENTOS LIQUIDOS SE VEN POCO AFECTADOS POR LA FRECUENCIA YA QUE SU VOLTAJE DE RUPTURA ES EL MISMO PARA FRECUENCIAS DESDE 60 A 400 CICLOS.

LOS TIPOS DE FALLAS DE LOS AISLAMIENTOS PUEDEN RESUMIRSE EN DOS: FALLAS DE LOS AISLAMIENTOS SOLIDOS Y FALLAS DE AISLAMIENTOS LIQUIDOS.

LAS PRUEBAS DE POTENCIAL APLICADO SOMETEN A ESFUERZOS ELECTRICOS ELEVADOS A LAS SOBINAS DEL TRANSFORMADOR Y COMPRUEBAN QUE LAS DISTANCIAS ENTRE ESTAS SEAN CORRECTAS, ASI COMO SUS DISTANCIAS A TIERRA. EL VOLTAJE APLICADO DEBE SER UNA ONDA SENOIDAL Y SU VALOR DE APROXIMADAMENTE EL DOBLE DEL NOMINAL SEGUN LA CLASE DE --

AISLAMIENTO DE QUE SE TRATE. SU TIEMPO DE DURACION NO DEBE EXCEDER DE UN MINUTO.

EN LOS DEVANADOS CON AISLAMIENTO REDUCIDO LA UNICA PRUEBA DIELECTRICA APLICABLE ES LA DE POTENCIAL INDUCIDO CUYO VALOR DEBE SER EL 346% DEL NOMINAL Y LA SEVERIDAD DE LA PRUEBA SIMILAR A LA DE 60 CICLOS.

LA PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO A TRANSFORMADORES CON AISLAMIENTO NORMAL - DEBE TENER UN VALOR DEL 200% SOBRE EL NOMINAL.

LA DURACION DEL VOLTAJE DE APLICACION EN TODOS LOS CASOS NO DEBE EXCEDER DE 7200 CICLOS PARA EVITAR LA SATURACION DEL NUCLEO.

TANTO LAS PRUEBAS DE POTENCIAL APLICADO COMO DE POTENCIAL INDUCIDO DEBEN - REALIZARSE COMO PRUEBAS DE RUTINA A TODO TRANSFORMADOR.

LAS ONDAS PRODUCIDAS POR LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS SUJETAN A LOS AISLAMIENTOS DE LOS TRANSFORMADORES A ESFUERZOS ELECTRICOS INSTANTANEOS MUY INTENSOS PERO ESTOS DEBEN SOPORTARLOS SIEMPRE Y CUANDO ESTEN DENTRO DE LOS LIMITES DE SU NIVEL DE AISLAMIENTO ACEPTADOS PARA LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

DE LOS TRES TIPOS DE ONDAS, LA DE FRENTE ESCARPADO ES LA MAS INTENSA AUNQUE NO LLEGUE A PENETRAR POR TODO EL DEVANADO DEL TRANSFORMADOR. SU RAZON DE AUMENTO ES APROXIMADAMENTE DE 1,000 KV/ μ SEG. SIN EMBARGO, LA ONDA COMPLETA ES LA QUE CERTIFICA CON MAYOR VERACIDAD TODO EL AISLAMIENTO, PUES LO LARGO DE SU COLA LE PERMITE ADENTRARSE POR TODO EL DEVANADO, Y DETECTA CUALQUIER ANOMALIA EN EL AISLAMIENTO.

LOS VALORES DE PRUEBA DE BAJAS FRECUENCIAS DEBEN MANTENER SU RELACION CON - LOS VALORES DE LAS PRUEBAS DE IMPULSO.

LAS CURVAS VOLTAJE-TIEMPO PARA LOS DIVERSOS TIPOS DE AISLAMIENTO QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DIELECTRICA DEL TRANSFORMADOR PERMITEN FIJAR SU NIVEL DE AISLAMIENTO BASICO, PARA LAS PRUEBAS DE IMPULSO O DE 60 CICLOS SIENDO POR LO TANTO LOS - PUNTOS DE PARTIDA PARA TODAS LAS PRUEBAS DIELECTRICAS. LOS DIFERENTES METODOS PARA OBTENERLAS SON EQUIVALENTES Y DE SUS CARACTERISTICAS DIELECTRICAS DEPENDE EL - USO DE LOS MATERIALES AISLANTES.

LOS ESFUERZOS ELECTRICOS A QUE SON SOMETIDOS LOS AISLAMIENTOS VAN EN RELACION DIRECTA A LA INTENSIDAD DE LA ONDA QUE PENETRA POR LOS DEVANADOS Y EN LA FORMA QUE ESTA LO HACE. LA DISTRIBUCION DEL VOLTAJE A LO LARGO DEL TRANSFORMADOR ES MUY IRREGULAR DEPENDIENDO PRINCIPALMENTE DE LA CAPACITANCIA A TIERRA.

SI DE ALGUN MODO ESTA SE PUEDE DISMINUIR, LA DISTRIBUCION SE HARA MAS UNIFORME

ME LOGRANDO HACER EL CIRCUITO INDUCTIVO-CAPACITIVO DEL TRANSFORMADOR MENOS OSCILATORIO. LAS FORMAS MAS COMUNES PARA ESTA MEJOR DISTRIBUCION SON: EL USO DE PLACAS ESTATICAS, ANILLOS ESTATICOS, ETC., EN SERIE CON LAS CAPACITANCIAS PROPIAS DEL DEVANADO, O EN PARALELO CON LAS CAPACITANCIAS A TIERRA.

ASI LA POSIBILIDAD DE QUE UN TRANSFORMADOR, CON VOLTAJE UNIFORMIZADO FALLE - AL APLICARSE LAS ONDAS DE IMPULSO SON MENORES.

LA COMPARACION ENTRE LAS FALLAS PRODUCIDAS DURANTE EL SERVICIO DE LOS TRANSFORMADORES Y LAS EFECTUADAS DURANTE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO JUSTIFICA EL QUE SE LIMITEN LAS PRUEBAS DE IMPULSO A UN NUMERO DE APARATOS QUE PUEDAN SER PROBADOS CUIDADOSAMENTE.

LAS PRUEBAS DE IMPULSO NO DAÑAN NI DEBILITAN LOS AISLAMIENTOS DE LOS TRANSFORMADORES. UNA PRUEBA EFECTUADA SIMPLEMENTE CON UNA ONDA COMPLETA Y UNA ONDA CORTADA DETERMINA SATISFACTORIAMENTE LA CALIDAD DE LOS AISLAMIENTOS Y LA MANUFACTURA DE LOS TRANSFORMADORES.

LAS FALLAS DE IMPULSO QUE NO PRODUCEN BURBUJAS, HUMO, O RUIDO NO PUEDEN DETECTARSE A MENOS QUE SE UTILICEN MEDICIONES DE CORRIENTE.

LAS FALLAS DE SERVICIO CAUSADAS POR SOBRE VOLTAJES TRANSITORIOS SON RARAS - AUN PARA TRANSFORMADORES QUE NO HAN SIDO PROBADOS CON LAS ONDAS DE IMPULSO.

EL MANEJO DE ESTE ES BASTANTE SENCILLO PERO ES NECESARIO SABER CON CUANTAS POSIBILIDADES SE CUENTAN EN CUANTO A FLEXIBILIDAD Y ADAPTACION DEL EQUIPO PARA OBTENER LA MEJOR REGULACION DE SU MECANISMO. SI EL GENERADOR ESTA MAL ADAPTADO A LA CARGA REPRESENTADA POR EL APARATO EN PRUEBA PUEDEN LLEGARSE A OBTENER RESULTADOS QUE SE PRESTEN A CONFUSIONES O A INTERPRETAR ERRONEAMENTE LAS CONDICIONES DEL - - TRANSFORMADOR PROBADO.

LOS PASOS PRINCIPALES PARA DISPARAR EL GENERADOR DE IMPULSOS EXIGEN UNA BUENA CALIBRACION DEL OSCILOGRAFO DE RAYOS CATODICOS PARA LA MEDICION Y REGISTRO DE LAS ONDAS; LA PREPARACION DEL CIRCUITO DE LA ESCALERA DE IMPULSOS Y LA DE TERMINACION - DEL VOLTAJE DE CARGA.

EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL VOLTAJE DE CARGA REQUERIDO PARA LA GENERACION DE LAS ONDAS, ES VER PRIMERAMENTE VARIOS DISPAROS DEL GENERADOR EN EL OSCILOGRAFO A 50 Y 70% DEL VALOR DE LA ONDA COMPLETA. CON ESTOS VALORES SE DETERMINA LA REGULACION DEL GENERADOR DE IMPULSOS Y PUEDE ENCONTRARSE EL VALOR DE LA ONDA CORTADA QUE ES EL 115% DE LA ONDA COMPLETA. EL VOLTAJE DE CARGA DEL GENERADOR ES TOMADO DEL PROMEDIO DE LOS VALORES ENCONTRADOS MAS 2% ELIMINANDO LA NECESIDAD DE SOLO VER, SIN REGISTRAR LAS PRIMERAS ONDAS CORTADAS Y COMPLETAS.

NO TODOS LOS DEVANADOS DE LOS TRANSFORMADORES PUEDEN MANTENER COLAS DE 40 MICROSEGUNDOS YA QUE AQUELLOS QUE TIENEN BAJA IMPEDANCIA TIENDEN A PRODUCIR COLAS CORTAS. EN ESTE TIPO DE ONDAS EL ACORTAMIENTO DE LA COLA PERMITE OSCILACIONES POR DEBAJO DE LA LINEA DE CEROS BASTANTE PRONUNCIADA POR LO QUE SE ESPECIFICA QUE EN NINGUNO DE LOS CASOS ESTAS OSCILACIONES SE EXCEDAN DE UN 30% DEL VOLTAJE APLICADO AL - DISPARAR UNA ONDA REDUCIDA A CADA UNA DE LAS TERMINALES DEL TRANSFORMADOR.

LA SEPARACION DE LAS ESFERAS SITUADAS EN CADA PASO DEL BANCO CAPACITIVO DEL GENERADOR DEBEN SER CALIBRADAS CORRECTAMENTE DE ACUERDO CON EL VOLTAJE DE CARGA - SUMINISTRADO. CON ESTE SE ELIMINA LA POSIBILIDAD DE DISPAROS ANTICIPADOS O LA AUSENCIA DE ESTOS.

LA FORMA DE LAS ONDAS APLICADAS A UN DEVANADO TIENEN SIEMPRE EL MISMO PERFIL, CUALQUIERA QUE SEA EL VOLTAJE SUMINISTRADO POR EL PULSO, LAS OSCILACIONES DEL CIRCUITO SON LAS MISMAS Y NO SE ALTERA SU PERIODO. ESTO PERMITE EL ESTUDIO DEL VOLTAJE DISTRIBUIDO A TRAVES DEL DEVANADO A POTENCIALES MAS BAJOS POR LO QUE SE JUSTIFICA NUEVAMENTE EL EMPLEO DE LAS ONDAS REDUCIDAS, COMO EL PASO INICIAL DE LAS PRUEBAS.

TODOS LOS DEVANADOS DE LOS TRANSFORMADORES QUE NO ESTEN BAJO LA ACCION DE LOS IMPULSOS DEBEN CONECTARSE SOLIDAMENTE A TIERRA PARA EVITAR POTENCIALES INDUCIDOS.

LOS ADELANTOS LOGRADOS EN EL AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES, EN SUS - TECNICAS DE DISEÑO, Y EN LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION ACTUALMENTE UTILIZADOS HAN SIDO OBTENIDOS EN SU MAYOR PARTE POR LAS DIFERENTES PRUEBAS DE CALIDAD ESTUDIADAS - EN ESTE TRABAJO DE LAS CUALES LAS DE IMPULSO SON LAS MAS RECIENTES Y LAS QUE HAN - MARCADO UN PASO PREPONDERANTE EN LA INDUSTRIA ELECTRICA DE MEXICO.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- TRANSFORMER INSULATION POWER FACTOR.- WESTINGHOUSE ENGINEER. NOV. 34.-
E. C. WENTS.
- 2.- POWER FACTOR TESTING OF TRANSFORMER INSULATION.- AIEE.- J. B. HODUM.
- 3.- CAPACITANCE TEST BRIDGE.- GENERAL RADIO COMPANY.
- 4.- TRANSFORMER ENGINEERING.- L. F. BLUME.
- 5.- ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK.- WESTINGHOUSE.
- 6.- IMPULSE TESTING OF POWER TRANSFORMER.- AIEE.- AGOSTO 1952.- HAGENGOUTH.
- 7.- THE A. C. DIELECTRIC LOSS AND POWER FACTOR METHOD FOR FIELD INVESTIGATION OF
ELECTRICAL INSULATION.- F. C. DOBLEE.
- 8.- FACTORY TESTING.- WESTINGHOUSE.
- 9.- NORMAS EBASCO.- EBASCO SERVICES INC.
- 10.- NORMAS ASA.
- 11.- IMPULSE TRAINING COURSE.- L. B. RADEMACHER.
- 12.- DIELECTRIC STRENGTH OF TRANSFORMER INSULATION.- AIEE.- P. L. BELLASCHI.
- 13.- CHARACTERISTICS OF SURGE GENERATOR FOR TRANSFORMER TESTING.- P. L. BELLASCHI.
- 14.- THE DETECTION OF TRANSFORMER FAILURES DURING IMPULSE TESTS.- PAUL EVANS JR.
- 15.- CATHODE - RAY OSCILLOGRAPH.- DU MONT.
- 16.- EFFECT OF TIME AND FREQUENCY ON TRANSFORMER INSULATION.- P. L. BELLASCHI.