

CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE UN
TRANSFORMADOR DE 100 KV

Tesis previa la obtención del Título de Ingeniero
Eléctrico, especialización Potencia de la Escuela
Politécnica Nacional.


GERARDO SOLAR CORRAL.

Quito, Marzo de 1982.

CERTIFICO:

El presente trabajo de Tesis
ha sido realizado en su tota
lidad por el Sr.

GERARDO SOLAR CORRAL

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Mentor Poveda", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

ING. MENTOR POVEDA

AGRADECIMIENTO:

Al Doctor Lajos Bajza, por sus experimentadas recomendaciones .

Al Ing. Mentor Poveda por su valiosa guía y acertados consejos técnicos.

A los Sres. Ingenieros Fausto Avilés y Mario Barba por su desinteresada labor y valiosa colaboración en el desarrollo de esta obra.

Al Sr. Francisco Andrade por su gran ayuda y cooperación en la construcción del Transformador.

I N D I C E

Página

CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE UN TRANSFORMADOR DE 100 KV.

Objetivos Generales

CAPITULO I

NUCLEO

I.1	Características Generales	1
I.2	Prueba de aumento de temperatura	2

CAPITULO II

PRIMERA COLUMNA

II.1	Diseño y construcción del molde	4
	1.1 Dimensiones	4
	1.2 Construcción	4
II.2	Devanado Terciario	6
	2.1 Justificación. Descripción	6
	2.2 Construcción	7
	2.3 Canales de refrigeración	8
II.3	Devanado de alta tensión	11
	3.1 Descripción. Características Generales	11
	3.2 Material aislante utilizado. Pruebas	14
	3.3 Devanado de prueba	18
	3.3.1 Justificación. Descripción.	18

I N D I C E

	<u>Página</u>
3.3.2 Construcción del molde	19
3.3.3 Construcción del devanado de pruebas	20
3.3.4 Pruebas	22
3.3.5 Conclusiones	24
3.4 Construcción del devanado real	24
3.5 Construcción de los canales de refrigeración	36
II.4 Devanado de Baja Tensión	36
4.1 Descripción. Características Generales	36
4.2 Construcción	37
II.5 Montaje y pruebas de la Primera Columna	37
5.1 Montaje	37
5.2 Pruebas de la Primera Columna	37
5.2.1 Medida de la resistencia del primario (BT)	38
5.2.2 Medida de resistencia del devanado secundario (A.T.)	38
5.2.3 Prueba de la relación de transformación	41
5.2.4 Comprobación del carácter de la impedancia de la columna	44

I N D I C E

Página

CAPITULO III

SEGUNDA COLUMNA

III.1	Molde	48
III.2	Devanado Terciario y canal de refrigeración	48
III.3	Devanado de Alta Tensión	48
III.4	Devanado de Baja Tensión	49
III.5	Ensamblaje	49
III.6	Pruebas	50

CAPITULO IV

AISLADORES PASATAPAS

IV.1	Intento de construcción con Sílice y Resina	52
IV.2	Prueba de aisladores pasatapas ya construídos	52
	2.1 Prueba de aisladores para 22 KV de 3 campanas	52 ✓
	2.2. Prueba deaislador para 22 KV de 7 campanas	53 ✓
IV.3	Diseño, construcción y pruebas de aisladores pasatapas, utilizando tubo PVC	53
	3.1. Diseño	54
	3.2 Construcción	55
	3.3 Pruebas	59
	3.4 Modificaciones y pruebas	59
	3.5 Conclusiones	61

I N D I C E

Página

CAPITULO V

TANQUE

V.1	Diseño	63
V.2	Construcción	63

CAPITULO VI

MONTAJE Y ARMADO

VI.1	Colocación de los discos	66
VI.2	Montaje de las bobinas en el núcleo	70

CAPITULO VII

PRUEBAS

VII.1	Determinación de la polaridad	73
VII.2	Pruebas de la relación de transformación	74

CAPITULO VIII

	CONCLUSIONES. RECOMENDACIONES	81
--	-------------------------------	----

OBJETIVOS GENERALES

Se trata de construir un transformador de relación 220/100.000(V); 5 KVA, para el laboratorio de Alto Voltaje de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, para que funcione en cascada con el existente e incrementar el voltaje de pruebas disponible. Realizar las pruebas del prototipo.

CAPITULO I

I NUCLEO

I.1 Características Generales

Se tiene un núcleo preparado según consta en la Tesis de diseño (1). En la mencionada Tesis se realizaron una serie de pruebas destinadas a analizar su posibilidad de utilización. A continuación se detallan sus características principales y los resultados de éstas pruebas.

a) Características Físicas

Peso = 56,36 Kg.

Volumen = 10,629 cm³

Sección = 57,22 cm²

b) Características Magnéticas

Valor escogido de densidad de flujo, B = 9,2 K.GAUSS

Excitación = 7,4 VA/Kg

Pérdidas = 1,46 W/Kg.

Este valor de densidad de flujo corresponde a un acero de calidad corriente, (Tabla 1) pero se decidió utilizarlo debido a la dificultad que supone encontrar en el mercado un material de mejor calidad.

TABLA 1

Acero de grano orientado.....	12-15 K GAUSS
Acero corriente.....	8 K GAUSS
Mal acero.....	menor de 8 K GAUSS

Cabe anotar que con este valor de densidad de flujo magnético el valor de voltios/espira que se obtienen es bajo, por lo que el número de espiras de los devanados es elevado trayendo por consiguiente mayores dificultades a la construcción, especialmente en el devanado de alta tensión.

Otro punto negativo de este núcleo es su sistema de ensamblaje que no permite un adecuado ajuste entre láminas, dejando numerosos entrehierros que aumentan la reluctancia del mismo.

I.2 Prueba de aumento de temperatura

A pesar de que en la Tesis de diseño (1) el núcleo ya fue investigado en lo referente a su comportamiento magnético, determinándose la densidad de flujo a la cual trabajará y los valores de pérdida por unidad de masa; aún quedaban dudas con respecto a su aumento de temperatura trabajando a la densidad de flujo especificada.

Estas dudas surgieron por el hecho de que las láminas no poseen la capa de aislamiento propio de todo núcleo magnético

Para verificar si esta condición sería o no crítica, se realizó una pequeña prueba, la cual consistió en bobinar un devanado para aplicarle una tensión que produzca el valor de densidad de flujo nominal de trabajo en el núcleo y verificar su aumento de temperatura.

El devanado de prueba tuvo las siguientes características:

Alambre: Nº 16 AWG

Nº vueltas: 158

Voltaje aplicado: 220 voltios

Duración de la prueba: 2 horas

Se constató una corriente de 5,8 (A)

Después de dos horas de tener conectado el circuito, el núcleo no dió muestras de el más mínimo calentamiento, el único problema que podría tenerse en cuenta es el ruido causado por vibraciones mecánicas y magnetostricción el cual puede reducirse ajustando los pernos de ensamblaje.

CAPITULO II

II PRIMERA COLUMNA

II.1 Diseño y construcción del molde

1.1 Dimensiones:

En la Tesis de diseño se especificaron las siguientes dimensiones para el molde:

Largo = 420 mm

Diámetro = 90 mm

El largo fue cambiado a 30 cm por no justificarse una mayor dimensión.

El diámetro fue cambiado a 11 cm, ya que, el diámetro de la columna del núcleo es de 10,5 cm.

Por lo tanto las dimensiones finales son:

Largo = 30 cm.

Diámetro = 11 cm.

1.2 Construcción:

El primer paso fué construir un cilindro de madera dura pero torneable. A este cilindro se le hizo un corte longitudinal sesgado y un agujero tal como se indica en la figura N^o 1. Para asegurar ambas partes se les uni6 mediante un perno de 5/8" y unas arandelas metálicas de 11 cm de diámetro.

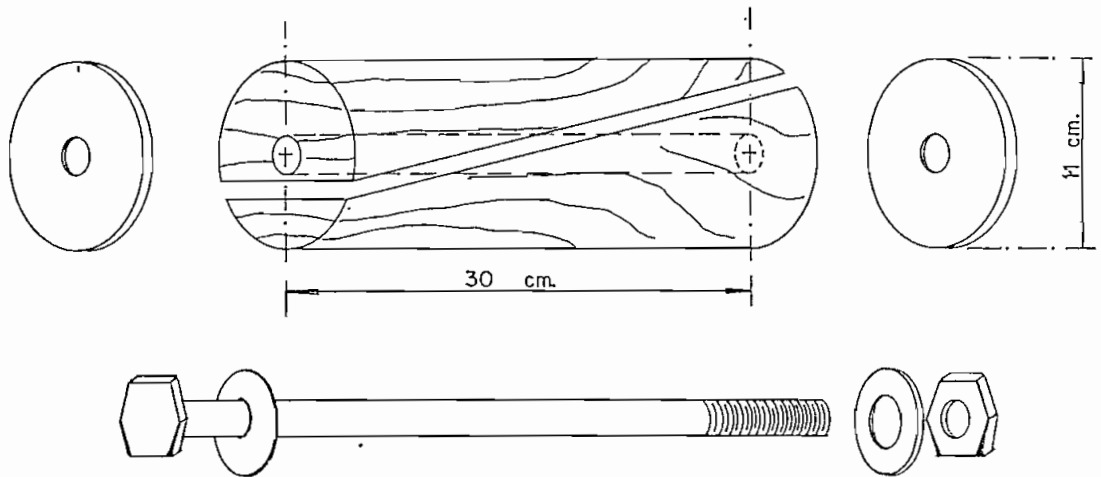


Figura # 1

El objeto de este corte sesgado es lograr sacar el cilindro de madera del interior de las bobinas, ya que, ordinariamente al construirlas, éstas se apretan sobre su molde y se dañan al tratar de extraerlas. Este corte desgasta al cilindro en un ancho igual al espesor de la sierra, dando lugar a un acople desigual debido al material eliminado; este problema es solucionado mediante las arandelas de 11 cm. de diámetro, ya que, al ajustarse el perno, éstas ejercen una presión idéntica sobre ambas caras del cilindro centrando y poniendo en su posición original a ambas partes.

El torneado del cilindro se le realizó en el torno del taller de la Facultad. El corte sesgado se lo efectuó en un taller de carpintería fuera de la Escuela Politécnica. Las arandelas se las fabricó en un taller mecánico también fuera de la Escuela Politécnica.

II.2 Devanado Terciario

2.1. Justificación. Descripción

De acuerdo al diseño el devanado terciario, va junto al núcleo, por lo tanto este será el primer devanado a construirse. Como se vió anteriormente, la finalidad de este devanado es eliminar el flujo producido por una excitación desequilibrada, lo cual es causa para que el punto de referencia tienda a desfasarse de su posición original. Este desequilibrio se hace presente al excitar con 220 (V) uno de los dos devanados primarios, los cuales están ubicados cada uno en una columna; como excitaremos sólo uno de ellos, el desbalance es inevitable.

Este devanado tiene las siguientes características

Alambre: # 13 AWG

Nº de vueltas: 158 en cada columna

Nº de capas 2

Aislamiento utilizado: prespán

Cada devanado está en posibilidad de soportar el voltaje total del devanado de baja tensión, o sea 220 (V) y la mitad de la corriente total del mismo, o sea 11.35 (A). Para lograr eliminar el efecto producido por la excitación desequilibrada, los devanados de ambas co-lumnas se conectarán de modo de producir voltajes en oposición.

2.2 Construcción

Sobre el molde de madera de 11 cm de diámetro se enrolló prespán de 0,25 mm de espesor y 27 cm de ancho, hasta conformar un especie de tubo de 3 mm de espesor el cual es la base para fabricar sobre él todos los devanados.

Posteriormente se pegaron tiras de algodón (reata) de 1" en forma axial sobre esta superficie (una cada 90°) de modo de asegurar la primera capa de este devanado. El bobinado se lo realizó en el torno y a la menor velocidad que este posee, 30 RPM. Al llegar a la vuelta # 79, se procedió a fijar las reatas mediante la pega Devcon "5 minutos". Después de esperar un tiempo prudencial se procedió a poner sobre este devanado dos ca

pas de papel prespán de 0,25 mm para tener un espesor de 0,5 mm, cabe notar, que en la Tesis de diseño (1) se especificó un aislamiento de 1 mm, pero se concluyó que no era necesario todo ese espesor, ya que, el devanado terciario soportará en el peor de los casos sólo 220 voltios, además que un mayor espesor desfavorece la refrigeración, este papel prespán se pegó entre si con cemento de contacto y con respecto al primer devanado con DEVCON. Sobre esta capa de prespán se pegaron nuevamente cuatro tiras de reata de 1" (una cada 90°). Al llegar a la vuelta # 158, nuevamente se fijaron las reatas con la pega DEVCON y se selló el fin de este devanado, dejando unos 60 cm. de alambre libre para las conecciones.

2.3 Canales de refrigeración

Sobre la segunda y última capa del devanado terciario se procedió a pegar barras de fibra de 4 x 5 x 260 mm en un total de 12. A estas barras se les pegó en los extremos otros segmentos de fibra de modo que al pegarlas tuvieran un apoyo parejo en todo su largo (figura # 2).

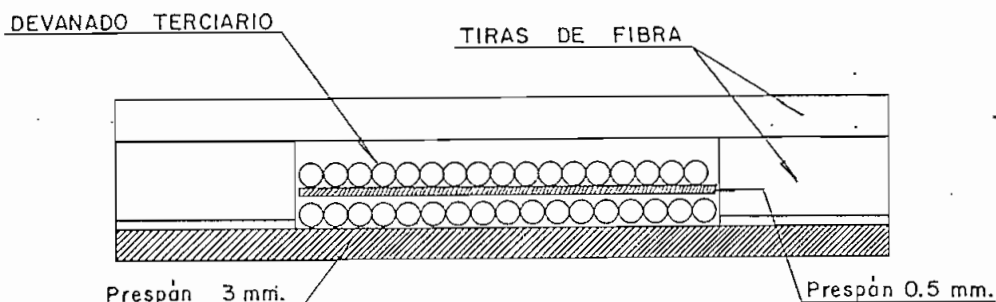


Figura # 2

Para cerrar esta cámara de circulación de aceite, se envolvió a las barras con prespán de 0,25 mm hasta conformar un espesor de 2,5 mm, de esta manera ya se dispone además de una buena superficie para comenzar el devanado de alta tensión.

Al poner esta nueva capa de papel prespán se encontró un problema y es que el cilindro había perdido la simetría, tal vez por una capa dispereja de pega por lo que el perímetro de la cara izquierda era 1,5 mm más largo que el perímetro del lado derecho, por este motivo no se podía enrollar el prespán, ya que, se salía hacia un lado del cilindro (como en un cono), por lo que se tuvo que agregar unas tiras de prespán hasta igualar nuevamente el cilindro.



Foto # 1



Foto # 2

En la foto # 1 y # 2 se ilustra el devanado en esta fase del trabajo.

II.3 Devanado de alta tensión

3.1 Descripción. Características generales

Este devanado es el más difícil de construir y el que requiere de mayor atención, ya que, tendrá mayores exigencias eléctricas y por lo tanto será más susceptible de falla, también el alambre # 32 con el cual se bobinará este devanado es muy delgado y muy fácil que se corte, lo cual considerando el gran número de vueltas da una idea de los problemas con que se tropezará.

Para la distribución de los paquetes, capas y grupos de bobinas de este devanado se utilizó un programa digital, el cual finalmente no se siguió al pie de la letra, basándose más bien en la realidad de los aspectos constructivos y también de acuerdo a las limitaciones de los materiales posibles para adquirir.

El devanado de alta tensión está compuesto de cinco paquetes que se detallan a continuación:

PAQUETE # 1

Longitud del paquete: 236,9 mm
Número de espiras por capa: 961
Voltaje por capa: 1345,4 V
Número de capas de bobinas: 8
Espesor del disco: 3 mm
Número total de vueltas: 7.688

PAQUETE # 2

Longitud del paquete: 223,0 mm
Número de espiras por capa: 892
Voltaje por capa: 1240,6 V
Número de capas de bobinas: 9
Espesor del disco: 1 mm
Número total de vueltas: 8.028

PAQUETE # 3

Longitud del paquete: 21,00 mm
Número de espiras por capa: 822
Voltaje por capa: 1150,8 V
Número de capas de bobinas: 9
Espesor del disco: 1mm
Número total de vueltas: 7.398

PAQUETE # 4

Longitud del paquete: 195,00 mm

Número de espiras por capa: 753

Voltaje por capa: 1054.2 V

Número de capas de bobinas: 10

Espesor del disco: 1 mm

Número total de vueltas: 7.530

PAQUETE # 5

Longitud del paquete: 180 mm

Número de espiras por capa: 697

Voltaje por capa: 975,8 V

Número de capas de bobinas: 8

Espesor del disco: 1 mm

Número total de vueltas: 5576

Sintetizando las características:

Alambre N° 32 AWG

Número total de vueltas: 72.440 (36.220 por columna)

Número de capas por columna: 44

Voltaje total: 100.000 (V)

Corriente: 0,05 (A)

3.2 Materiales aislantes utilizados. Pruebas

Los materiales aislantes utilizados en la construcción del devanado de alta tensión fueron los siguientes:

- a) Fibra acrílica
 - b) Devcon. Epoxídico "5 minutos"
 - c) Masking Tape
- a) Fibra acrílica.- Fue el principal aislante utilizado y reemplazó al papel impregnado en aceite, usado generalmente para éstos propósitos. Este material fué elegido por su gran resistencia mecánica, eléctrica de espesor muy conveniente y fácil obtención en el mercado.

Sus características físicas son:

Espesor: 0,02 mm

Ancho: 62 cm

Largo: Tiras superiores a 100 m

Color: Blanco.

Podemos anotar ventajas y desventajas de este material con respecto al papel de celulosa, la principal ventaja es que no se impregna con el agua y no

acumula humedad eliminando uno de los principales problemas de los transformadores convencionales; como desventaja podemos mencionar que no se impregna con el aceite no permitiéndole al material mejorar sus características dieléctricas, sin embargo se espera que el aceite se introduzca entre cada capa, tal como sucedió en las pruebas.

PRUEBAS

Antes de decidir la utilización de esta fibra se creyó necesario someterlo a una prueba eléctrica para determinar su calidad como aislante. Esta prueba fué placa-placa y disrruptiva. Para este propósito se utilizó un dispositivo existente en el laboratorio de Alto Voltaje consistente en un recipiente cúbico de acrílico transparente en cuyo interior se encuentran dos cilindros de separación entre caras regulable.

La prueba se la hizo tanto en seco como sumergido en aceite y desde una a diez capas. Los valores que a continuación se presentan son valores promedios.

EN SECO

Número de capas (#)	Tensión de perforación (KV)
1	1.53
2	2.60
3	4.03
4	4.8
5	5.18
6	7.80
7	8.50
8	10.10
9	11.10
10	12.30

EN ACEITE

Número de capas (#)	Tensión de perforación (KV)
1	1.73
2	4.40
3	6.83
4	8.80
5	11.15
6	12.45
7	14.00
8	15.00
9	16.50
10	22.00

CONCLUSIONES:

Como puede apreciarse los valores de la tensión de perforación son mayores en aceite que en seco, esto no es por que la fibra se empape con el aceite, sino porque el aceite se filtra entre las capas de la fibra acrílica y entre las caras de los electrodos y la fibra. Se espera que el aceite se filtre de la misma forma en el transformador ya construído, aunque por precaución se trabajó con los valores obtenidos en seco.

b) Devcon. Expódico "5 minutos"

Se le utilizó para fijar y sellar los principios y finales de cada capa del devanado de alta tensión, fué un elemento de gran ayuda, ya que, su velocidad de secado y extraordinaria fuerza y dureza permitió una muy buena continuidad de trabajo. Su uso fué recomendado por el Doctor L Bayza especialmente por su resistencia al aceite, temperatura y mayoría de productos químicos.

c) Masking. Tape

Su tarea fué asegurar la fibra acrílica en sus extremos (principio y fin) al cilindro, también in -

tervino en la preparación de la fibra acrílica antes de montarla al cilindro.

3.3 Devanado de Prueba

3.1 Con el fin de solucionar algunos problemas de aspecto constructivo y también efectuar pruebas eléctricas (pruebas límites o destructivas) y mecánicas que no podían hacerse sobre el devanado real y definitivo, se resolvió fabricar un modelo de prueba.

Este modelo simula al devanado real, y es copia exacta en dimensiones y materiales utilizados.

El primer propósito de este devanado de pruebas fué experimentar cual sería el modelo o estructura definitiva de las posibles combinaciones entre número de capas de papel y número de capas de bobinas. Este punto parecía haberse resultado en la Tesis de diseño (1), pero en ella no se contaba con el papel a usarse ni con sus características, por lo tanto el nuevo diseño debía basarse principalmente en las pruebas efectuadas al papel en el laboratorio de Alto Voltaje.

De esta manera se escogió el siguiente modelo (figura # 3).

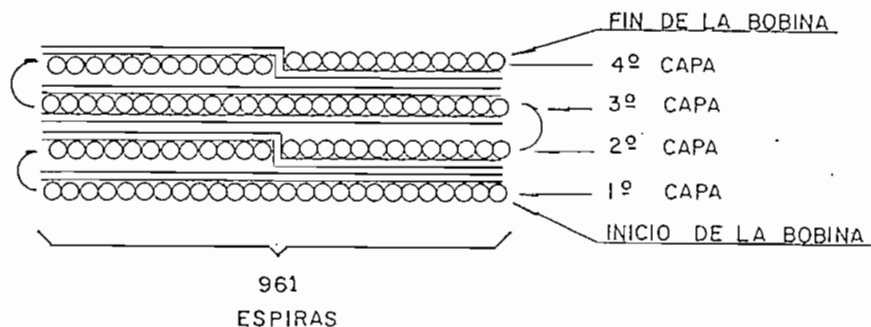


Figura # 3

Este modelo constaría de diez capas, ocho correspondientes al 1er. Paquete y dos correspondientes al 2do. Paquete. También se construirán los discos de 3 mm de espesor para ver como arman sobre el bobinado.

3.3.2 Construcción del molde

Para hacer una réplica exacta del devanado real el molde fué construído con las dimensiones que éste ya tenía, incluyendo el volumen ocupado por el de-

vanado terciario y los canales de refrigeración.

Esta vez no se permitió utilizar el torno de la facultad para la construcción del cilindro de madera por el problema del polvo de aserrín, tampoco se pudo utilizar el torno del taller de carpintería, pues como la madera era extremadamente dura debía de ser torneada en un torno mecánico para tornear piezas de metal. Finalmente el cilindro fue torneado en la Fábrica de Carrocerías "Perfecta" de propiedad del Sr. José Pazmiño a quien agradezco sinceramente, ya que, demoré exactamente una semana en encontrar donde realizar este trabajo.

3.3.3 Construcción del devanado de pruebas

Después de aislar con prespán y fibra acrílica el molde de madera se procedió a bobinar con alambre # 32 AWG, y con gran lentitud debido a la falta de experiencia (el alambre se rompió 5 veces) se logró terminar después de dos semanas de trabajo las 10 capas proyectadas, se constató la excelente calidad de la pega expódica y se experimentó con el uso del papel o fibra acrílica, especialmente en lo referente al ancho de los cortes que debían efectuarse en los bordes para posteriormente proce-

der a doblarlo en un ángulo de 90° éstos cortes debían ser lo más frecuente posible para que no se deformara en la zona de doblado y lo menos frecuente posible para que no fuera una labor demasiado demorada, finalmente se acordó hacerlos cada 1 centímetro y su largo y ancho depende del paquete y capa particular en que se esté trabajando.

Una vez finalizado este modelo de prueba se concluyó que era posible llevarlo a la práctica en el devanado real con algún grado de dificultad que se suponía ir superando a medida que se lograra obtener la práctica suficiente en el uso del torno y dibujado y corte del papel.



Foto # 3

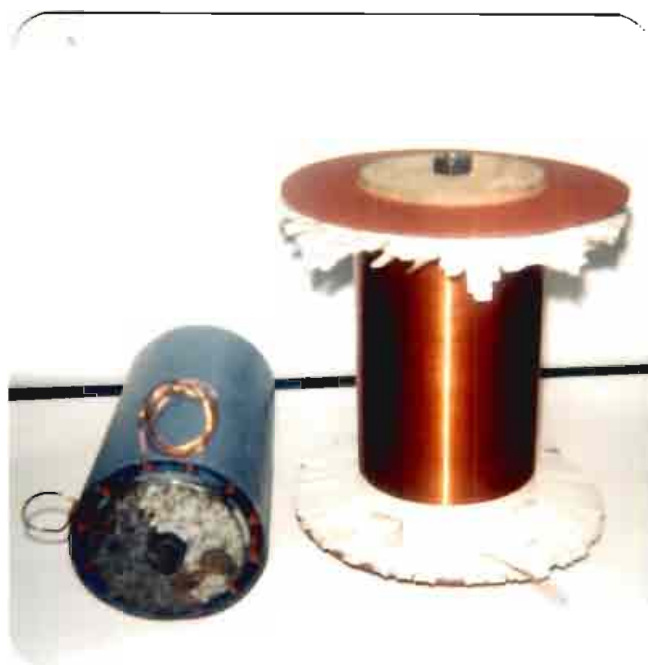


Foto # 4

En la foto # 3 se indica el modelo de pruebas ya terminado y en la # 4 está junto con el devanado real.

Para poder finalmente aceptar este modelo, debía pasar por las correspondientes pruebas eléctricas.

3.3.4 Pruebas

Como de este devanado no se iba a aprovechar ni el alambre ni el papel, se convino en hacer una prueba disruptiva.

El propósito de esta prueba era observar el máximo

voltaje permisible entre capas, para esto se procedió a cortar el alambre entre la novena y la décima capa, para separar eléctricamente la última capa del resto del devanado. Una vez efectuado este corte se conectó la novena capa a una tensión de referencia (Cero) y el extremo de la décima capa a una tensión alterna variable proveniente del transformador de 100 KV del laboratorio de alto voltaje (Ver figura # 4) Como es de suponerse no hay circulación de corriente porque el camino está interrumpido, por lo tanto en esta prueba se verificará la capacidad del papel entre la novena y décima capa. El valor esperado o teórico es de 1240 (V) que es el voltaje por capa del paquete # 2 (Pag 12) ya que en este caso el punto más débil está en el centro del devanado.

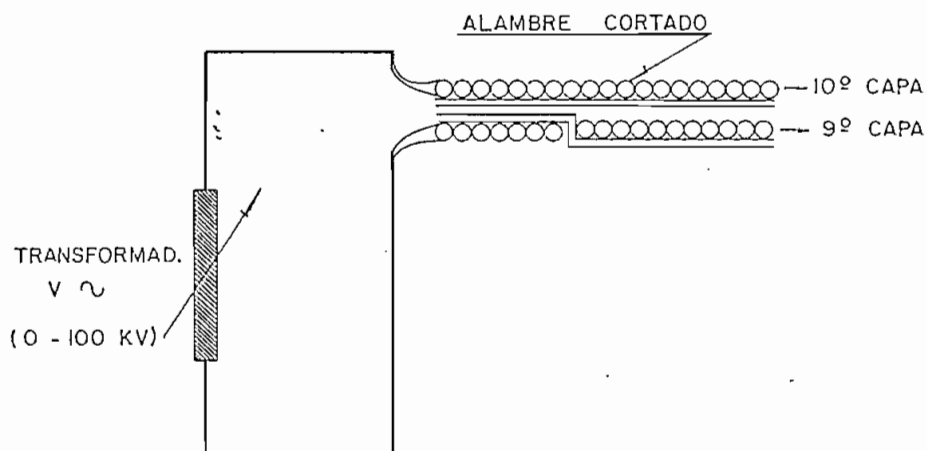


Figura # 4

La tensión comenzó desde cero subiendo gradualmente hasta pasar el valor crítico de 1.24 KV. Al valor de 1.7 apareció un sónico similar al de corona (debido a que el alambre # 32 es muy delgado).

La disrupción con perforación de la fibra ocurrió a los 3 KV.

3.3.5 Conclusiones

Siendo el valor crítico 1.240 (V), el valor obtenido de 3.000 (V) es aceptable, ya que, hay que recordar que el transformador estará sumergido en aceite y esta prueba fué realizada en seco.

3.4 Construcción del devanado real

Con toda esta valiosa información se precedió a construir el devanado de alta tensión sobre el molde real siguiendo el diseño ya establecido en el modelo de prueba. Cabe hacer notar en este punto el retraso de tiempo que significó la falta de experiencia en éste tipo de construcciones, especialmente en lo referente al torno y al problema que es trabajar con un alambre tan delgado como es el # 32

Las primeras capas fueron realizadas en un promedio de una cada cuatro horas, con el torno graduado en la menor velocidad que posee, 30 RPM y el paso guiado prácticamente a pulso lo que causaba continuos desalineamientos, en la trayectoria del alambre, unas veces montándose sobre la espira anterior y otras veces separándose en exceso, a pesar de la gran experiencia de la persona que realizaba este trabajo Sr. Francisco Andrade. Este problema de desalineamiento hacía pensar en la necesidad de un regulador de velocidad para obtener una velocidad menor.

Con este mismo sistema se terminó el 2do. y parte del 3er. paquete, en la quinta capa del tercer paquete se logró descubrir un paso del carro el cual se ajustaba automáticamente al paso del alambre lo que constituyó un notable avance, ya que, con este sistema, el alambre no se montaba ni se separaba en exceso de la espira anterior. Con este sistema se realizaba una capa cada dos horas, ya que, en el cuarto paquete se cambió la velocidad del torno de 30 a 54 RPM, esto junto a la experiencia ganada, permitió avanzar a razón de una capa por hora.

De esta manera bobinar se convirtió en un problema se-cundario, no así la confección de la fibra aislante

001900

que fué la parte más laboriosa y monótona de este trabajo, para tener una idea de la proporción entre el tiempo utilizado en bobinar y en la confección de la fibra, se puntualiza que para tener la cantidad suficiente de fibra como para hacer trabajar el torno durante todo un día, debían transcurrir dos días marcando y cortando el papel.

En las siguientes fotos se ilustra cada una de las fases del proceso de construcción.

En la foto # 5 se ha puesto una capa de fibra acrílica (doble) y se ha comenzado a bobinar una capa de bobina de izquierda a derecha.

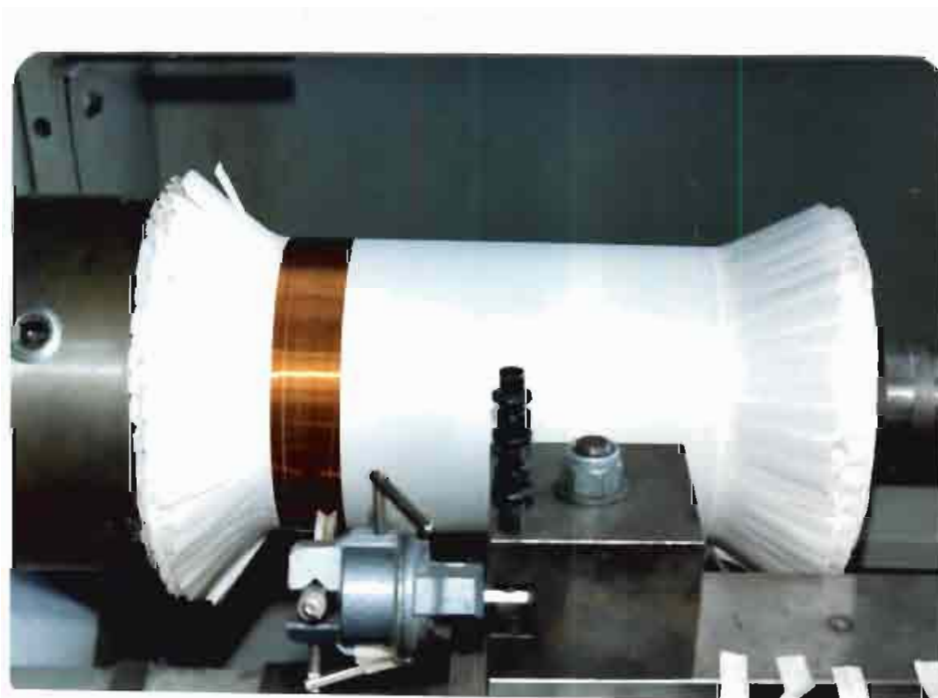


Foto # 5

En la foto # 6 se ha llegado a la mitad de la capa de bobina y está listo para poner otra capa de fibra acrílica.

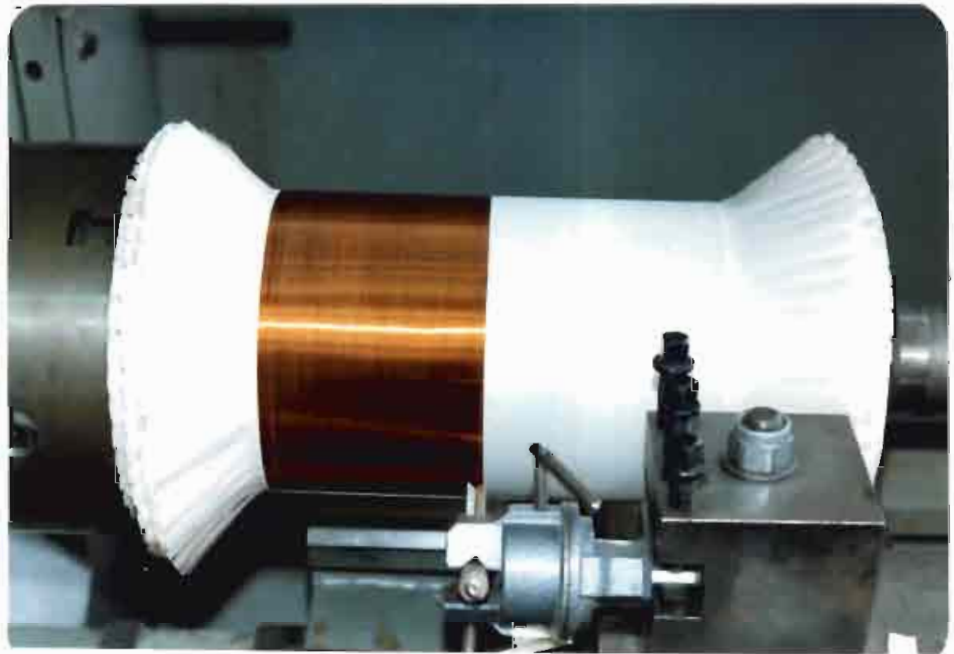


Foto # 6

En la foto # 7 se ha puesto la capa de fibra acrílica y se ha continuado bobinando de izquierda a derecha la segunda mitad de la capa de bobina.

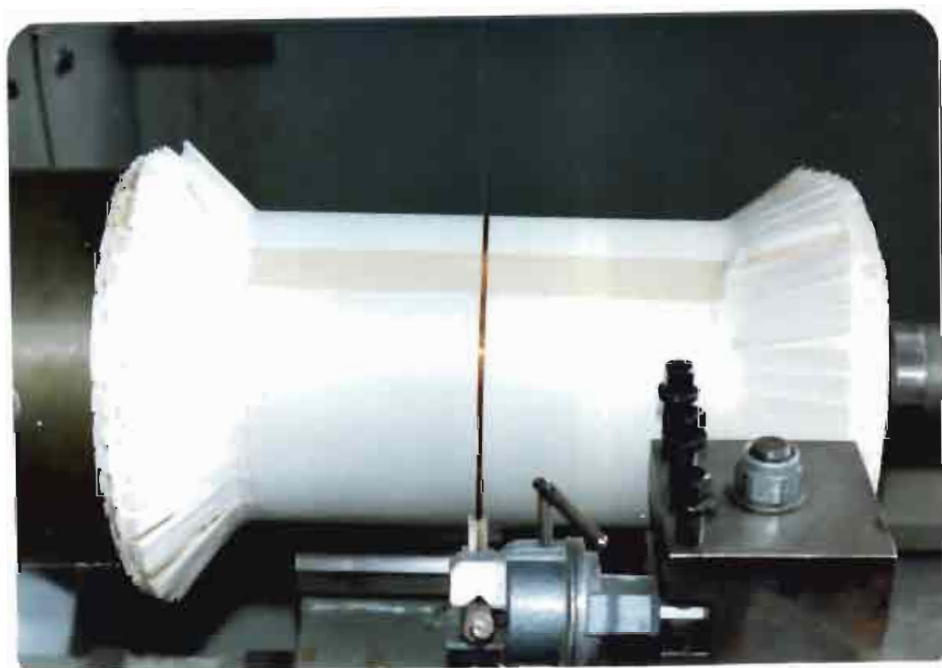


Foto # 7

En la foto # 8 se ha terminado la segunda mitad de la capa de bobina.

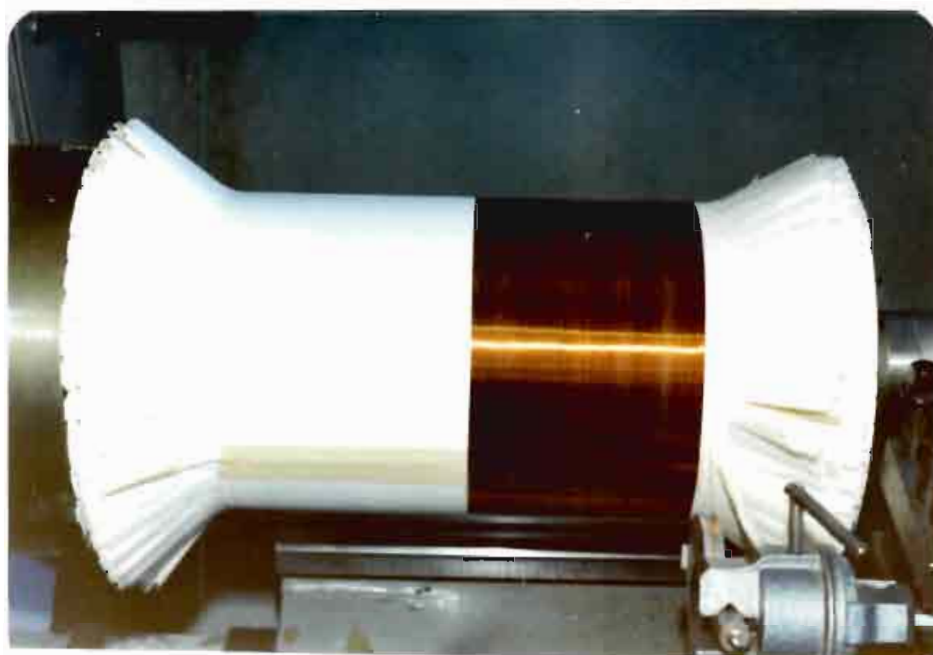


Foto # 8

En la foto # 9 se procedió a sellar el final de la capa con pega Devcon "Epoxy, cinco minutos"

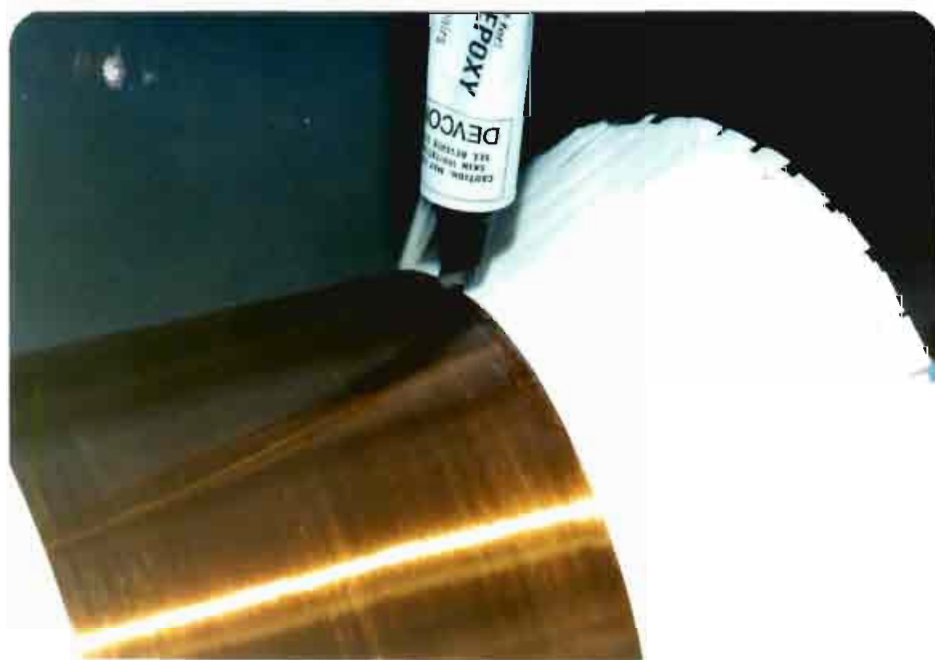


Foto # 9

En la foto # 10 se ha puesto otra capa de fibra acrílica y está listo para bobinar de derecha a izquierda.

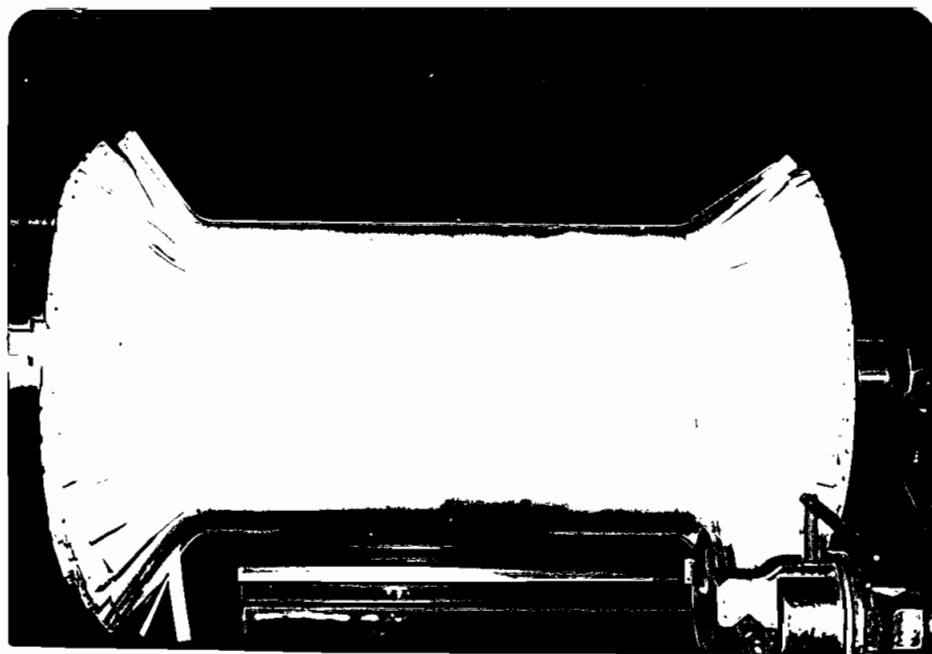


Foto # 10

En la foto # 11 se ha comenzado a bobinar de derecha a izquierda.

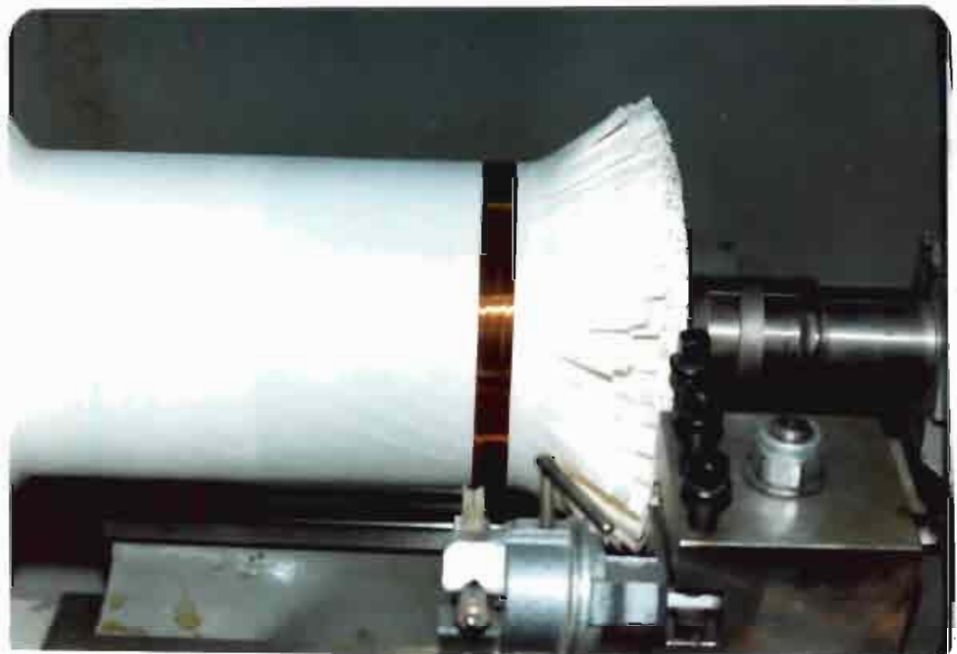


Foto # 11

En la foto # 12 ya se ha terminado de bobinar la capa de derecha a izquierda.

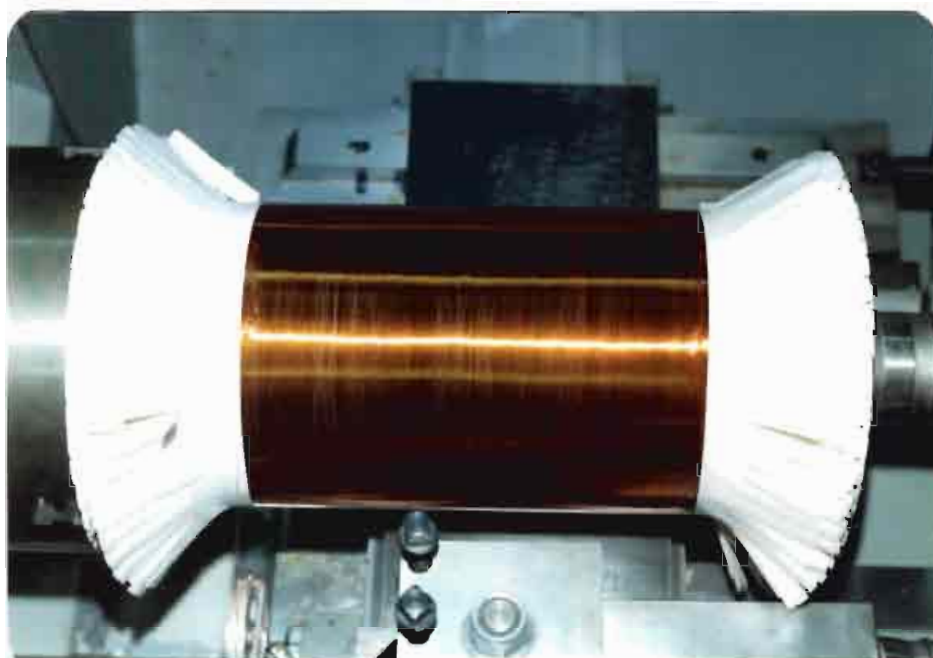


Foto # 12

En la foto # 13 puede apreciarse la bobina instalada en el torno y el carrete suministrador del alambre.

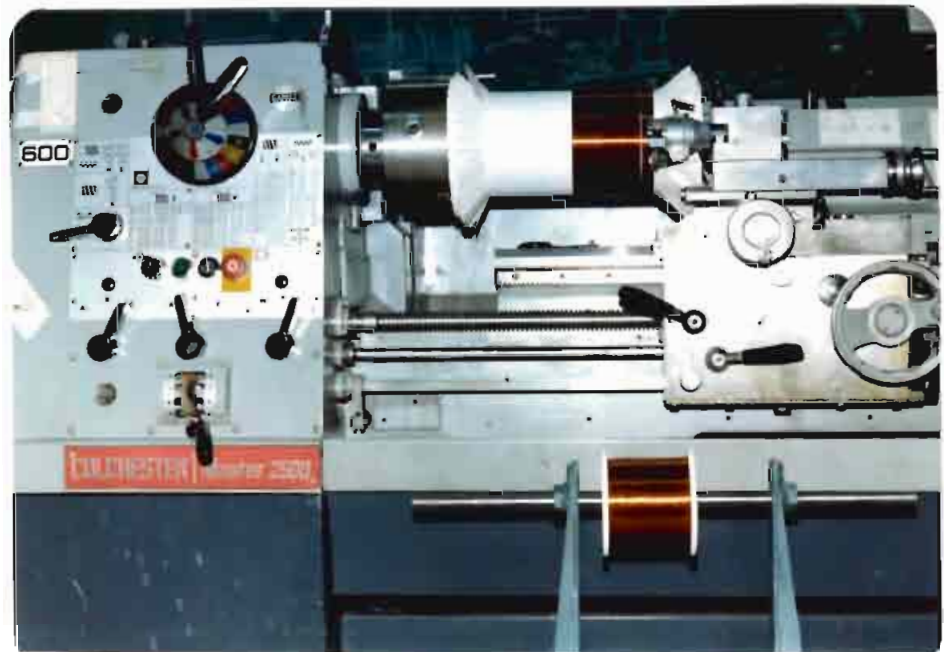


Foto # 13

En la foto # 14 se indica una pieza de fibra acrílica junto a la bobina instalada en el torno.

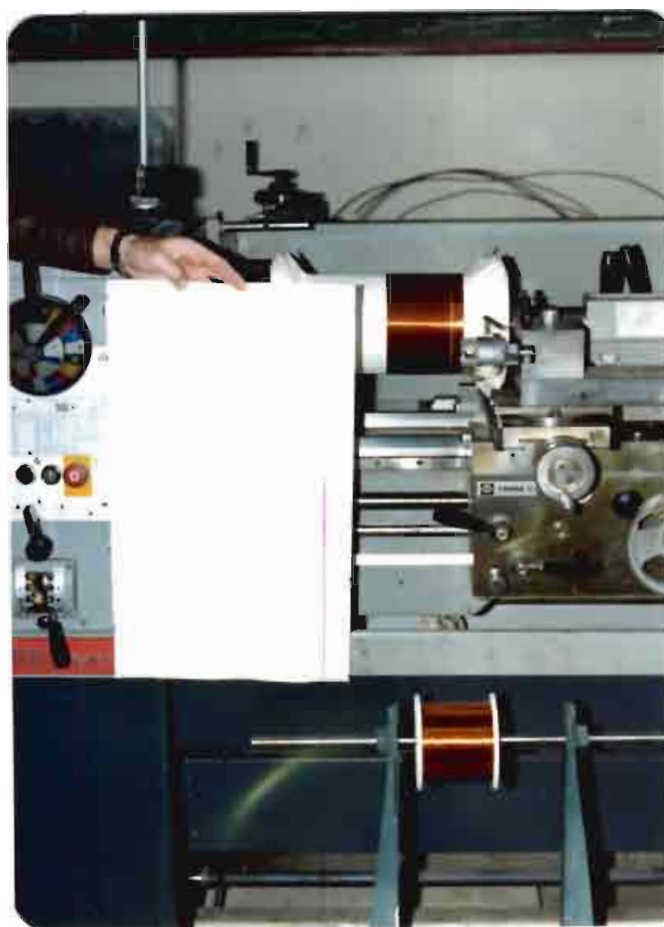


Foto # 14

3.5 Construcción de los canales de refrigeración

Una vez terminado el 5to. paquete, se procedió a construir un espacio con fibra roja a modo de canales para la circulación del aceite, estos canales tienen un alto de 4 mm y un ancho de 2.4 cm.

Sobre estas fibras se enrolló papel prespán de 0.25 mm de espesor hasta conformar un grosor de 1mm para cerrar el espacio superior de los canales y formar una buena superficie para bobinar el devanado de baja tensión (primario).

II.4 Devanado de Baja Tensión

4.1 Descripción. Características Generales

Este devanado existe en ambas columnas para posibilitar la conexión en cascada del transformador y hace el papel de devanado primario.

Características:

Alambre: # 10 AWG

Nº de vueltas: 158 en cada columna

Nº de capas: 3

Aislamiento utilizado: prespán

Voltaje: 220 (V)

Corriente: 22.7 (A)

4.2 Construcción

Este devanado fué muy fácil y rápido de hacer, se utilizó reata para fijar el alambre y también la pega epoxídica "5 minutos" y se bobinó en el torno a la velocidad de 30 RPM.

II.5 Montaje y pruebas de la Primera Columna

5.1 Montaje

Esta fue una parte bastante laboriosa, ya que, hubo que desarmar el núcleo de hierro magnético para insertar el bobinado dentro de la columna, desordenándose bastante las láminas, para su reajuste se tuvo que recurrir a métodos rudimentarios y lentos quedando de todas maneras entre hierros y espacios desfavorables para la circulación del flujo magnético.

5.2 Pruebas de la Primera Columna

Habiendo terminado la construcción de la Primera Columna

na, se decidió efectuar algunas pruebas que contestarían ciertas interrogantes y dieran una base para verificar la calidad del trabajo y realizar alguna corrección antes de la construcción de la Segunda Columna en caso de cerciorarse algún defecto.

5.2.1 Medida de la resistencia del primario (BT)

Objetivo.- Aunque es el devanado en el cual menos problemas constructivos se encontraron, interesa tener este dato para cuando se hagan las pruebas finales del transformador.

Instrumento = Ohmetro digital

Resultado, $R_1 = \underline{0.38 \Omega}$

5.2.2 Medida de la resistencia del devanado secundario (AT).

Objetivo.- La principal preocupación de todo el trabajo, como también una de las más posibles fallas, es la rotura del conductor del devanado de Alta Tensión (secundario), ya que, es un alambre # 32, muy delgado y por lo tanto muy delicado, cualquier rotura interna, producida en algún momento de la construcción estropearía todo el trabajo y obligaría a la construc --

ción completa de una nueva columna que reemplazara la dañada. Otro punto importantísimo de verificar es la calidad de las soldaduras que debieron practicársele obligadamente al conductor, ya sea por rotura involuntaria (en número de 3), como por finalización del carrete de suministro (en número de 3).

Por este motivo, se pensó realizar esta prueba que reviste gran importancia en este punto del trabajo.

Resultado: Se intentó con el ohmetro digital, el puente y un medidor patrón de resistencia, marcando circuito abierto en los tres casos, por último se intentó con el método volt-amperímetro, único método con el cual se obtuvieron lecturas correctas.

El circuito armado fué el siguiente:

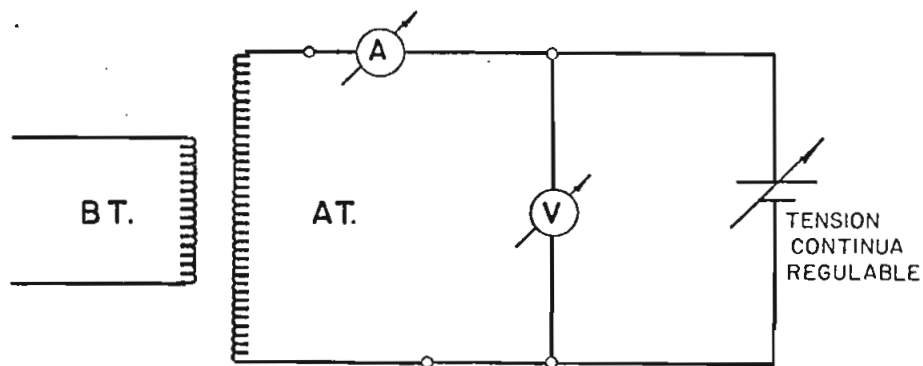


Figura # 5

De los resultados obtenidos se confeccionó la siguiente tabla.

TABLA # 2

V (Volt)	I (Amp)	R = V/I (K Ω)
4,8	0.44	10.9
5.0	0.47	10.6
5.4	0.51	10.58
6.4	0.60	10.66
26.4	2.33	11.33
53.3	4.81	11.08
66.5	6.06	10.97
122.9	11.64	10.55

Conclusiones:

- Valor teórico

Nº de vueltas = 36.220

longitud promedio de cada vuelta = 0.57 m

Ω /Km = 532 = 0.532 Ω /m

R = Nº vueltas x long. prom. (m) x (Ω /m)

$$R = 36.220 \times 0.57 \text{ (}\mu\text{)} \times 532 \text{ (}\Omega\text{/}\mu\text{)}$$

$$R = 10.983 = 10.98 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

Se concluye que con el ohmetro digital, el puente y el medidor patrón de resistencia no se dispone de la energía necesaria para hacer circular corriente por el devanado de alta tensión, que tiene un largo total de 20.645 m (20,64 Km). En cambio con el método Volt-amperímetro puede extraerse de la red la energía suficiente como para obtener resultados satisfactorios.

Puede verse que los valores obtenidos en la tabla se aproximan al valor teórico, lo cual indica que no existe rotura del conductor y que las sueldas son de buena calidad.

5.2.3 Prueba de la relación de transformación

Objetivo.- Tener un acercamiento a las características finales del transformador, comprendiendo las limitaciones que implica trabajar con valores muy por debajo a los especificados en el diseño del mismo.

Se utilizó el siguiente circuito:

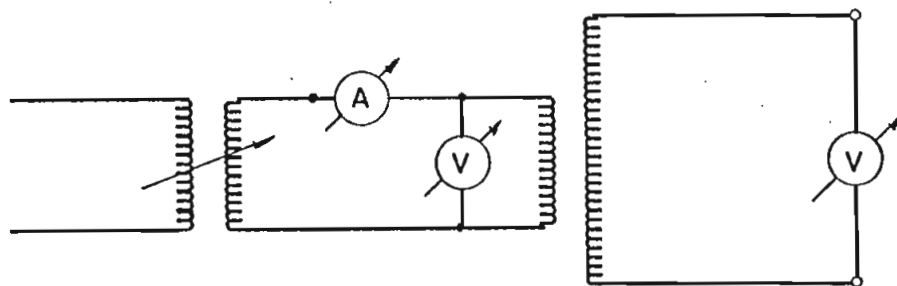


Figura # 6

a) Voltímetro digital (hasta 1200 v)

- No se obtuvo lectura de I_1

TABLA # 3

V_1 (Volt.)	I_1 mA	V_2 (Volt.)	Relación V_2/V_1
0.846		175	206.8
0.998		205	205.41
1.198		245	204.5
2.72		564	207.35
4.60		986	214.34
5.39		1179	218.7

b) Voltímetro de alta tensión.

TABLA # 4

V_1 (Volt)	I_1 mA	V_2 (Volt)	Relación V_2/V_1
4.4	89	1000	227.27
5.08	102	1100	216.53
5.39	---	1200	222.63
6.92	---	1500	216.76
7.06	141	1590	225.21
7.48	149	1620	216.57
8.36	166	1820	217.7

Conclusiones: El valor teórico esperado es

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{50.000 \text{ V}}{220 \text{ V}} = 227,27$$

por lo tanto observando las tablas (3) y (4) vemos que estamos en valores muy cercanos a lo esperado.

5.2.4 Comprobación del carácter de la impedancia de la columna.

Objetivo.- Debido a la configuración del devanado de alta tensión, en el cual existe una elevada diferencia de potencial entre capas y además una gran cercanía entre ellas (0,08 mm), se teme, se produzca un efecto capacitivo entre capa y capa; como son 44 capas, podría en el peor de los casos representar un valor que se constituya en un peligro para el buen funcionamiento del transformador, ya que, en ese caso el sistema capacitivo absorbería toda la potencia de entrada.

Luego esta prueba tiene por finalidad averiguar si en la columna prima el carácter inductivo o el capacitivo.

Explicación del método: En el circuito dibujado en la figura # 7, se ve que el voltaje V_4 debe tener obligatoriamente carácter capacitivo, ya que, mide el voltaje en bornes del capacitor C, el voltaje V_3 indicará el carácter del devanado de alta tensión, ya que está en serie con éste (capacitivo o inductivo),

y el voltaje V_5 será la suma de V_3 y V_4 ,
 si $V_5 = V_4 + V_3$ implica que el devanado tiene ca-
 rácter capacitivo, ya que, se suman en el mismo
 sentido. Si $V_5 < V_4 + V_3$ indica que el devanado
 tiene carácter inductivo, ya que, tiene diferen-
 te sentido y por lo tanto se restan.

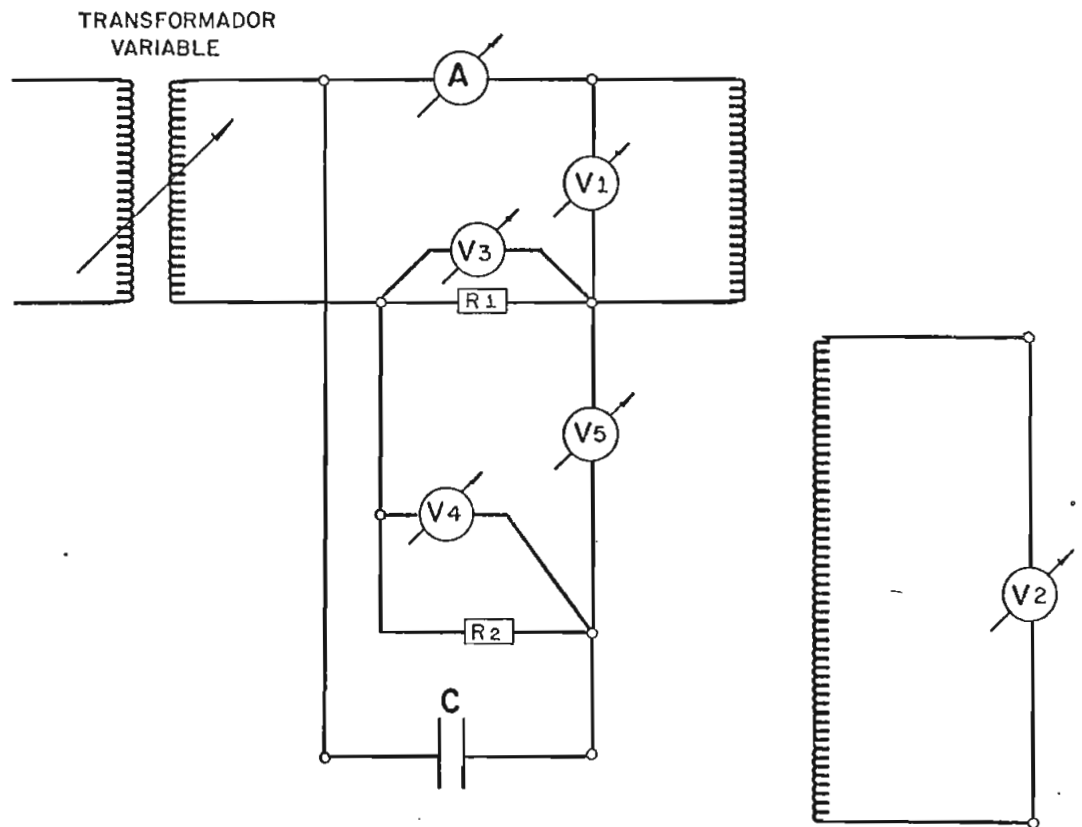


Figura # 7

De los resultados de la prueba se elaboró la si-
 guiente tabla.

TABLA # 5

V_1 (V)	V_2 (V)	V_3 (V)	V_4 (V)	V_5 (V)
4,9	1.000	0,6	4,1	3,9
9,8	2.000 *	0,9	8,4	7,6

Donde $V_5 = V_3 \pm V_4$

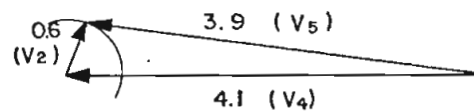
V_3 puede ser capacitivo o inductivo

V_4 es capacitivo.

* Nota.- Este valor (2.000 V) está por debajo de la tensión para la cual comienza a ser audible el efecto corona debido al pequeño diámetro del conductor # 32. Recordemos que posteriormente todo el sistema estará sumergido en aceite.

Conclusiones:

DIAGRAMA FASORIAL



Se puede apreciar de los resultados de la tabla y del diagrama fasorial, que en la columna prima el carácter inductivo, considerando además que tenemos resistencias intercaladas como son R_1 , R_2 y la misma resistencia del devanado de alta tensión, lo cual no permite tener capacitancias e inductancias puras.

CAPITULO III

III SEGUNDA COLUMNA

III.1 Molde

Se utilizó el mismo molde en que fué confeccionada la Primera Columna, ya que, como este es desarmable no se estropea al extraerlo.

III.2 Devanado Terciario y Canal de Refrigeración

Se construyó exactamente igual que en el caso de la Primera Columna, por lo tanto no es necesario entrar en detalles.

III.3 Devanado de Alta Tensión

Debido a la experiencia ganada al construir el devanado de Alta Tensión de la Primera Columna, este devanado fué mucho más fácil de construir, ya que, la velocidad del torno se aumentó a 54 RPM y a veces hasta 72 RPM, de manera que la construcción de este devanado tomó en total sólo 30 días, en comparación con los 4 meses que tomó el anterior.

Otro punto de consideración en el corto tiempo invertido en

este devanado fué que el dibujado y corte de la fibra acrílica se encargó a un dibujante profesional, de modo que se aseguró una continuidad de trabajo perfecta.

Al igual que en la anterior columna, se confeccionaron los canales de refrigeración antes de bobinar el devanado de baja tensión.

III.4 Devanado de Baja Tensión

No hubo variantes y su construcción fué idéntica que el devanado de baja tensión de la primera columna.

III.5 Ensamblaje

Para introducir la segunda columna en el Núcleo, hubo que desarmar éste nuevamente, y después armarlo con mucha presión para dejar el menor número de entrehierros posibles, esta labor es muy dificultosa, ya que, todos los elementos son muy pesados y se necesita el concurso de tres personas como mínimo, inclusive en este punto surgió un grave problema, ya que, se cortó durante la operación, el extremo inicial del devanado de alta tensión, quedando afuera un largo de sólo 4 mm. Para soldar un nuevo trozo de alambre se requirió hacer una delicada operación, ya que, primero hay que lijar el alambre para extraerle el barniz, luego esta -

ñarle, y luego realizar un trenzado con el nuevo alambre a añadir, para posteriormente soldar, y finalmente limpiar y aislar toda la zona que ha quedado sin barniz.

En todo caso, se entiende que este montaje es provisional y solo con el propósito de realizar pruebas de continuidad y polaridad, ya que, posteriormente habrá que extraer los devanados para ensamblar los discos separadores de fibra.

III.6 Pruebas

Como esta segunda columna es totalmente idéntica a la primera, no nos interesa medir la resistencia del devanado primario. Solo continuidad del devanado secundario de Alta Tensión.

Se armó el mismo circuito que para la primera columna (figura # 5).

Los resultados son los siguientes:

TABLA # 6

V (Volt)	I (Amp)	R = V/I (K Ω)
4,5	0,420	10,7
5,0	0,47	10,65
5,5	0,52	10,58
8	0,75	10,69
23,6	2,07	11,39
58	5,24	11,06
97	8,83	10,99

Conclusiones: Comparando la Tabla # 2 con la tabla # 6 puede apreciarse que los valores de la resistencia son similares en ambas columnas y puede concluirse que en esta segunda columna no existe rotura del conductor, y que las sueldas son también de buena calidad.

CAPITULO IV

IV AISLADORES PASATAPAS

IV.1 Intento de construcción con Sílice y Resina

En principio, se pensó construir dentro de la Escuela Politécnica todo el transformador, también se tenía proyectada la construcción de los aisladores pasatapas. El primer método intentado consistía en la preparación de una resina epóxica a la cual se le agregaría una cierta proporción de sílice. Este proyecto no se llevó a cabo por la imposibilidad de conseguir la resina, no así el sílice que se encuentra con facilidad en el país.

Como referencia, el abastecedor más confiable de resina eléctrica en el país es "CIBA GEIGI", pero solo hace importaciones sobre los 100 galones.

IV.2 Prueba de aisladores pasatapas ya construídos

2.1 Prueba de aisladores para 22 KV de 3 campanas

Corona auditiva: 25 KV

Disrupción: 92 KV

No es conveniente su utilización debido al bajo valor de corona auditiva, ya que, nuestro modelo final debe soportar 50 KV sin corona auditiva.

2.2. Prueba de aislador para 22 KV de 7 campanas

Corona auditiva: 30 KV

Disrupción: 100 KV

A pesar de presentar un valor de corona auditiva de 5 KV más que el anterior, aún no es suficiente para satisfacer las necesidades requeridas por el transformador, razón por la cual este aislador también fué rechazado.

Se intentó, además obtener aisladores ya construídos de 50 KV, no encontrándose a la venta en el país, por lo que se estuvo a punto de hacer una importación desde Colombia, misma que no se llevó a cabo por el alto costo que suponía y también por el descubrimiento de un nuevo proyecto de construcción, ideado por el Ing. Alfredo Mena, el cual se detalla a continuación.

IV.3 Diseño y construcción de aisladores pasatapas utilizando tubo PVC.

Como básicamente un aislador pasatapas es un simple tubo, bastaría, para construirlo encontrar un tubo que satisfaga ciertas condiciones, como buena rigidez dieléctrica, paredes exteriores lisas y aceptable resistencia mecánica, características que pueden encontrarse en los tubos de PVC. Acogiendo la presente idea se elaboró el siguiente diseño

3.1 Diseño

El primer parámetro a determinar es la longitud del aislador, esto es la distancia entre la masa metálica del tanque y el terminal o cabeza del aislador, teniendo presente que la diferencia de voltaje entre ellos es de 50 KV y que va a trabajar en el interior.

La altura promedio de los aisladores pasatapas convencionales para transformadores de 46 KV es 40 cm. esto sin considerar el contorno de las campanas.

Para comenzar a experimentar se cortó un trozo de PVC de 40 cm. de largo y poniéndole en posición vertical se le probó con dos electrodos tipo placa en los extremos, configuración que soportó 74 KV sin corona, esto alentó a seguir adelante con este material.

Para mejorar las características del tubo PVC se resol

vió llenarlo a éste con aceite de transformador y sellar herméticamente ambos extremos para eliminar filtraciones.

El conductor de alta tensión sería un tubo de acero galvanizado de 3/4", roscado en ambos extremos para sujetar las tapas del tubo y el electrodo superior. Dentro de este tubo se alojarían los conductores del devanado primario.

3.2 Construcción

Para construir el electrodo a bola superior del aislador así como la pieza que asegura el aislador al tanque, se torneó en madera a ambos a manera de moldes y posteriormente se les fraguó en aluminio en el taller de la Facultad de Ing. Mecánica; las piezas ya terminadas presentaban bastantes irregularidades, que se esperó no causarían problemas.

Estas piezas se indican en las fotos # 15 y # 16.



Foto # 15



Foto # 16

Las tapas del aislador se fabricaron de fibra roja de 1,5" de espesor y se pegaron con pega de PVC y van sujetas mediante dos tuercas insertadas en el tubo de acero. (Foto # 17).



Foto # 17

Para una mejor comprensión de todo el conjunto de los aisladores pasatapas, se ilustra foto # 18 en forma de despiece.



Foto # 18

3.3. Pruebas

Una vez armado este modelo de experimentación se le probó en el laboratorio de Alto Voltaje presentando "corona" a un valor de 25 KV. Cabe mencionar que este valor subía a 65 KV, sin el tubo de acero interior, pero desgraciadamente este tubo es imprescindible como conductor de Alta Tensión y para alojar en su interior a los conductores de Baja Tensión (foto # 19).

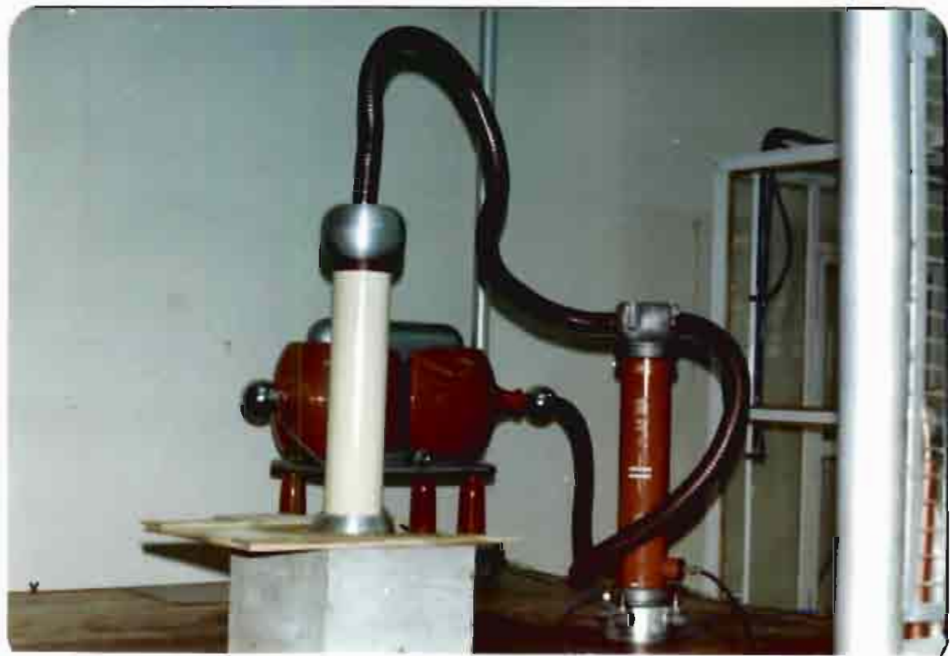


Foto # 19

3.4 Modificaciones y pruebas

Con el objeto de mejorar las características de este prototipo se resolvió redondear la arista superior del

anillo de aluminio que va montado en la parte inferior del aislador y se aumentó la altura del tubo a 48 cm pero este modelo también presentó corona a un valor cercano a los 27 KV.

Posteriormente, y para simular las condiciones reales de operación del aislador, se le montó en el tanque y se sumergió el extremo interior en un balde con aceite de transformador puesto dentro del tanque (foto # 20 y 21)



Foto # 20



Foto # 21

En esta última y definitiva prueba el aislador presentó corona a un valor de 28 KV, por lo tanto se decidió abandonar la experimentación con este tipo de material.

3.5 Conclusiones

Debido al bajo valor al cual comienza la corona audible en todas las condiciones en que fué sometido a prueba el aislador, se concluyó que era necesaria una mayor investigación y experimentación al respecto, y puesto que es un trabajo que demandará bastante tiempo.

po, en el estudio de nuevos diseños prueba de materiales y configuraciones posibles, es justificable presentarlo por sí sólo como un tema de Tesis de Grado.

CAPITULO V

V TANQUE

V.1 Diseño

Basándonos en la tesis de diseño (1), se elaboró la configuración del tanque metálico que alojaría al transformador. Los cambios efectuados, se deben especialmente a las dificultades que originaría la construcción del diseño original teniendo presente las limitaciones de nuestra tecnología al respecto.

Se mantuvieron las dimensiones como diámetro y altura y también las piezas que sujetan al transformador dentro del tanque. Se modificaron la tapa, la posición de los aisladores pasatapas y el anillo que rodea el borde superior e inferior del tanque para evitar corona.

V.2 Construcción

La construcción de este tanque se encomendó a Industrias Cedeño y no tiene mayor importancia, un detalle del proceso ya que es por lo demás simple, cabría solamente mencionar, que debido a la longitud del perímetro del cilindro del tanque (282,74 cm) no fué posible fabricar el cilindro de una

plancha normal que viene de un longitud de 244 cm, y hubo que conseguir un tipo de tol que se suministra en rollos.

Otro punto importante es el acabado de las soldaduras, tanto la lateral que cierra el cilindro, como la perimetral inferior que asegura el fondo del tanque al cilindro, las cuales se realizaron con la mayor prolijidad posible para que no existan filtraciones de aceite y no presenten protuberancias y porosidades al exterior, lo cual provocaría corona.

Debido a la inclinación que deben tener los aisladores pasatapas, se fabricaron en el taller de la Facultad, 2 piezas metálicas las cuales tienen por finalidad dar esta inclinación. (Foto # 22).



Foto # 22

Estas piezas pueden ir soldadas al tanque, o apernadas por abajo, inclusive están hechos los huecos avellanados para que no sobresalgan las cabezas de los pernos en caso de optarse por esta segunda alternativa; en todo caso, no es conveniente fijar estas piezas hasta que los aisladores no estén definidos.

CAPITULO VI

V MONTAJE Y ARMADO

VI.1 Colocación de los discos

El primer paso fué disponer las bobinas en una posición que permita tener los extremos despejados para poder separar los flecos de la fibra acrílica en el nivel correspondiente al paquete en el cual se insertará el disco. Para este propósito se dispuso sobre un banco de trabajo móvil una plancha de espuma-flex y enseguida unas tiras de este mismo material, de modo que ambas bobinas quedaron debidamente fijados y acañadas a la mesa de trabajo.

Posteriormente se procedió a separar los flecos del material aislante de manera de despejar el principio y el fin de cada uno de los cinco paquetes del devanado de Alta Tensión, a excepción del fin del quinto paquete sobre el cual va el devanado de baja tensión que está al mismo potencial que aquel. La separación se la realizó con Maskin tape.

Una vez separado todos los niveles de ambos extremos de las dos columnas, se midió el perímetro de las respectivas circunferencias para poder confeccionar los 16 discos de fibra que serían insertados en cada una de éstas separaciones.

El radio interno de los discos está determinado por el perímetro medido anteriormente, y el radio externo, por la altura de los flecos del paquete correspondiente. Una vez obtenidas todas éstas medidas se marcó la fibra de 1 mm de espesor y un carpintero realizó el trabajo del cortado.

Con los discos ya cortados sólo fué necesario limarlos para eliminar aristas y rebordes que pudieran dañar el material aislante del devanado de Alta Tensión y se procedió a insertarlos y pegarlos con la pega epoxy "5 minutos".

Después de pegar todos los discos de fibra de 1 mm de espesor se pusieron a modo de sello final 4 discos también de fibra pero de 3 mm de espesor, uno en cada extremo de las bobinas. Para ajustar todos los discos se cortaron dos piezas de madera de forma triangular y se unieron los vértices de ambas piezas con pernos pasantes de manera que al ajustar los pernos, los discos fueran tomando su posición correspondiente.

Esta pieza se indica en la foto # 23

La posición de trabajo de las bobinas durante todo este proceso, así como también los discos ya ensamblados en los devanados se indican en las fotos # 24, 25 y 26.



Foto # 23



Foto # 24

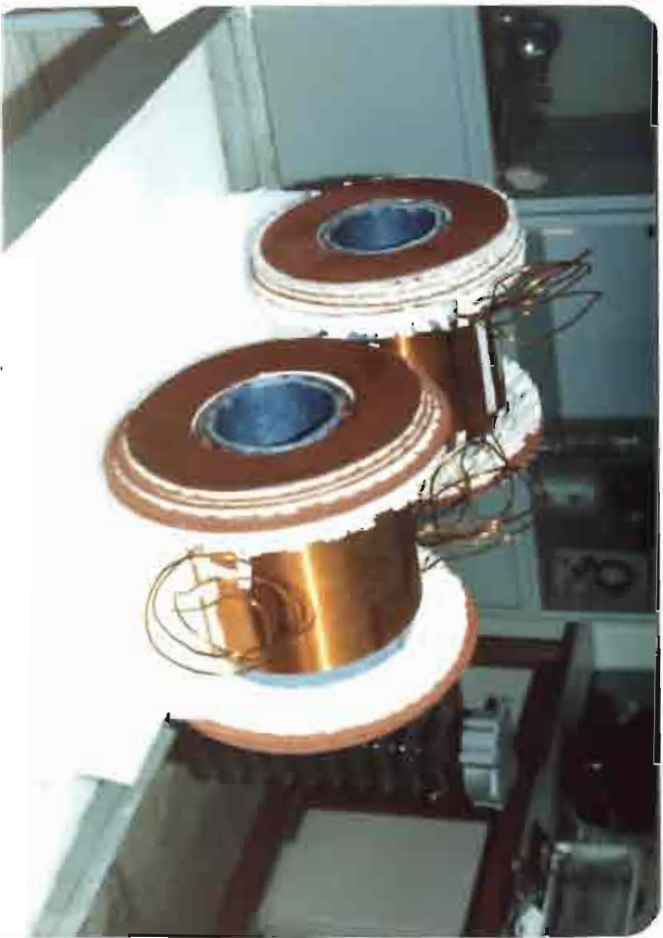


Foto # 25

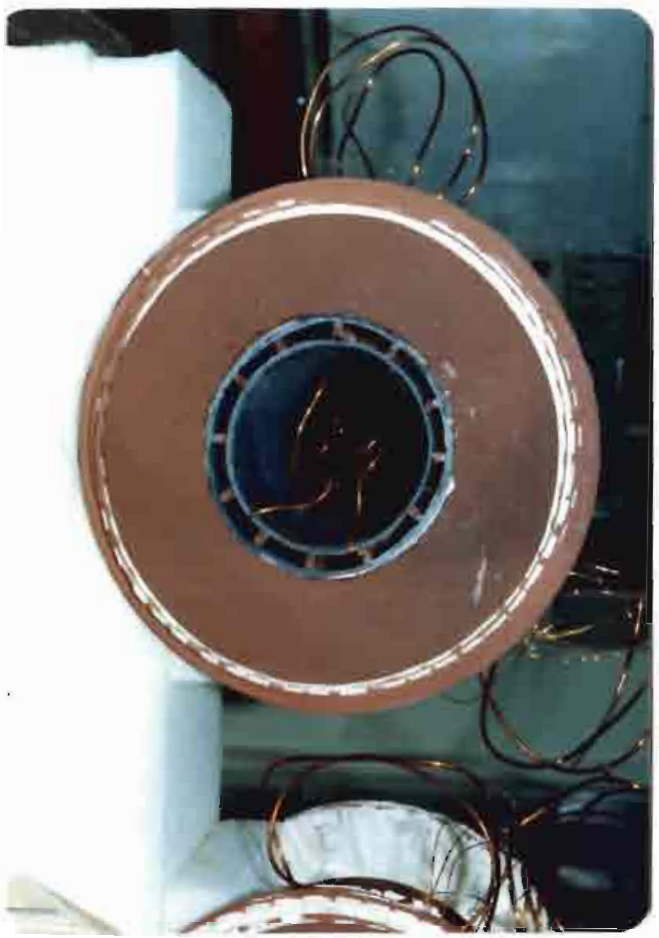
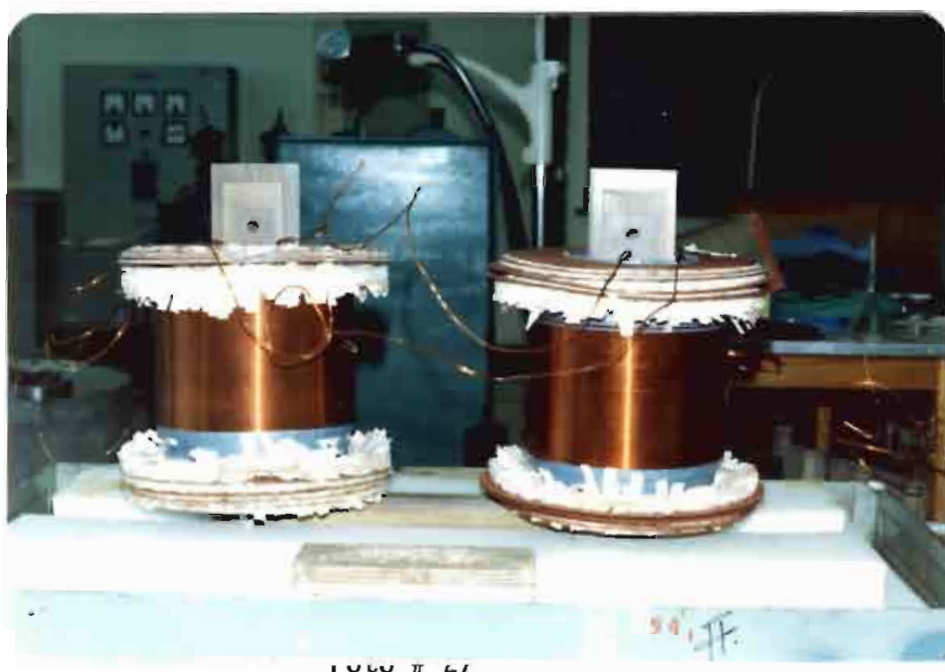


Foto # 26

VI.2 Montaje de las bobinas en el Núcleo

Para este propósito, primeramente se desmontaron las bobinas de la mesa de trabajo y se colocó el núcleo asegurado en su base tal como puede verse en la foto # 27



Estando el núcleo en esta posición, se insertaron las bobinas en las columnas. Como el diámetro interior de las bobinas es mayor que el diámetro de las columnas del núcleo (para que las aristas de las columnas no dañen los devanados) que do un espacio en el cual se insertaron cuatro pletinas de fibra de 3 mm de espesor a modo de formar un rectángulo y

posteriormente se insertaron a presión dos varillas de fibra de 12 mm de espesor y cuatro varillas de 4 mm de espesor en cada bobina. De este modo las bobinas quedaron totalmente ajustadas y aseguradas a las columnas del núcleo. (foto # 28) .

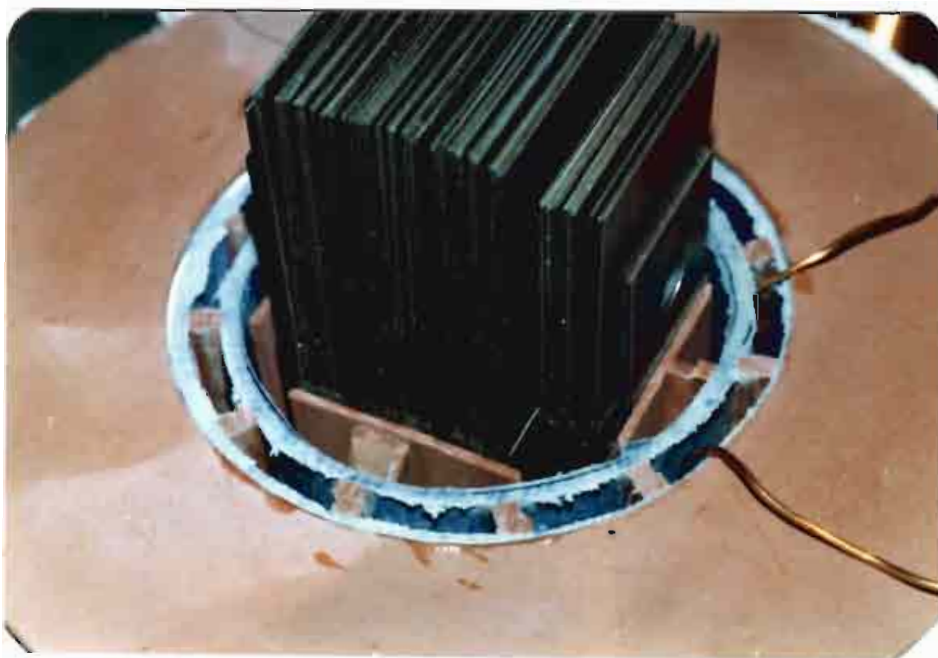


Foto # 28

Una vez aseguradas las bobinas al núcleo, se procedió a montar el brazo superior del núcleo, el cual une a ambas columnas, como se detalló anteriormente este trabajo debe ser realizado minuciosamente para que cada lámina encaje en el lugar correspondiente.

Se indican las fotos # 29 y 30 para mostrar el momento del ensamblaje y terminado respectivamente.

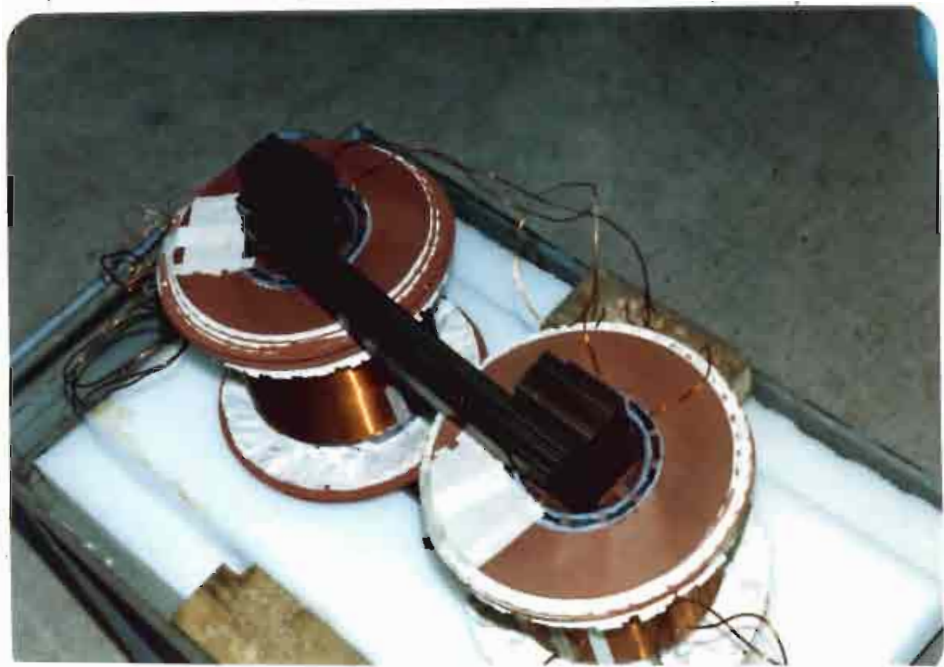


Foto # 29

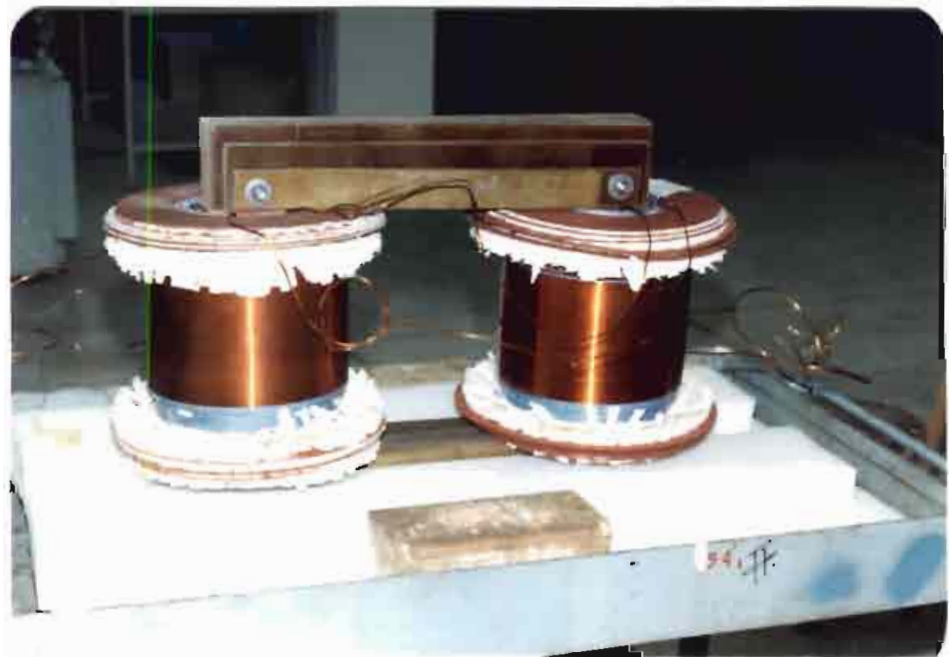


Foto # 30

CAPITULO VII

VII PRUEBAS

Habiendo terminado completamente las bobinas y el ensamblaje de éstas al núcleo, estamos en condiciones de comprobar el funcionamiento de este conjunto que a la postre es el corazón del transformador. Con este fin fueron pensadas las pruebas que se detallan a continuación.

VII.1 Determinación de la polaridad

Objetivo.- Con el fin de realizar las conexiones entre los devanados esta prueba es de vital importancia.

El devanado secundario de la primera columna, debe conectarse al devanado secundario de la segunda columna para obtener en los otros terminales la suma de las tensiones, y el punto de unión debe conectarse al núcleo. Por lo tanto deben conectarse en forma aditiva. Los devanados terciarios, deben conectarse en oposición entre si o sea con polaridad sustractiva.

El devanado primario debe conectarse en serie con el devanado secundario de manera que ambos voltajes se sumen.

Procedimiento: Se armó el circuito normalmente utilizado para prueba de polaridad.

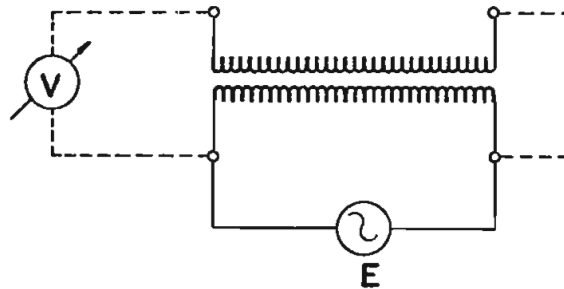


Figura # 8

y se marcó cada terminal con el símbolo (+) o (-) según correspondiera el caso.

VII.2 Pruebas de la Relación de Transformación

Objetivo.- Esta prueba tiene dos objetivos, el primero es comprobar que ninguno de los dos devanados de Alta Tensión haya sufrido rotura del conductor # 32, durante el tiempo que ha estado guardado en el taller y en el laboratorio. El segundo es constatar el funcionamiento del transformador y tener un conocimiento real del acoplamiento entre los devanados.

a) Procedimiento.- Conectaremos una fuente de tensión al-

terna: En el devanado primario (V_1), de la primera columna y mediremos voltajes en el devanado secundario (V_2) en el devanado primario (BT) de la segunda columna (V_1) y en el devanado terciario (V_3), tal como indica la figura # 9

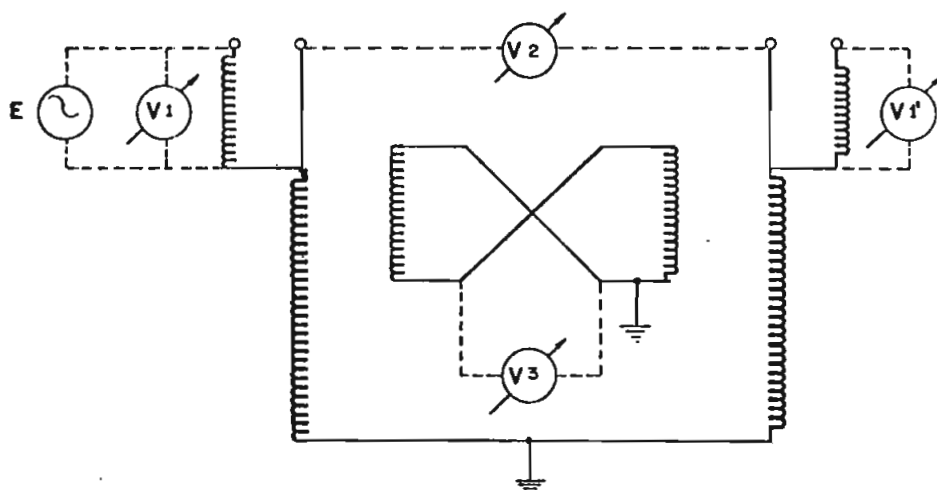


Figura # 9

Con los resultados obtenidos se elaboró la tabla # 6

TABLA # 6

V_1 (E) (V)	V_1' (V)	V_2 (V)	V_3 (V)	$a = \frac{V_2}{V_1}$
0,57	0,57	257*	0,57	450
0,79	0,78	361	0,78	456,96
1,40	1,39	630	1,39	450
1,78	1,76	800	1,76	449,44
2,64	2,63	1190*	2,63	450,76
4,38	4,34	2000**	4,34	456,62
6,67	6,62	3000	6,62	449,78
8,8	8,78	4000	8,78	454,55

- b) Procedimiento.- Conectaremos la fuente de tensión al -
terna en el devanado primario (V_1'),
de la segunda columna y mediremos el voltaje en el deva-
nado secundario (V_2), en el devanado primario de la pri-
mera columna (V_1) y en el devanado terciario (V_3) tal
como se ve en la figura # 10.

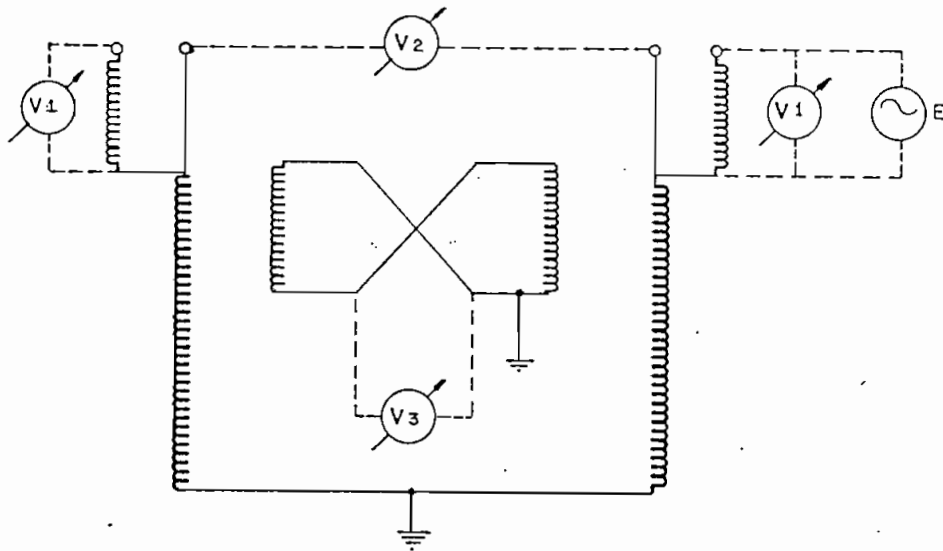


Figura # 10

Con los resultados obtenidos en la presente prueba se
elaboró la tabla # 7

TABLA # 7

V_1 (V)	V_1 (E) (V)	V_2 (V)	V_3 (V)	$a = \frac{V_2}{V_1'}$
0,86	0,89	390*	0,86	453,5
1,72	1,77	779	1,72	440,1
2,62	2,71	1190	2,62	454,2
4,35	4,36	2000**	4,35	458,72
6,52	6,53	3000	6,52	459,4
8,71	8,73	4000	8,71	458,19

- c) Procedimiento.- Conectaremos la fuente de tensión en el devanado terciario (V_3) y mediremos el voltaje en los devanados primarios de la primera y segunda columna (V_1) y (V_1') respectivamente y el voltaje en el devanado secundario (V_2)

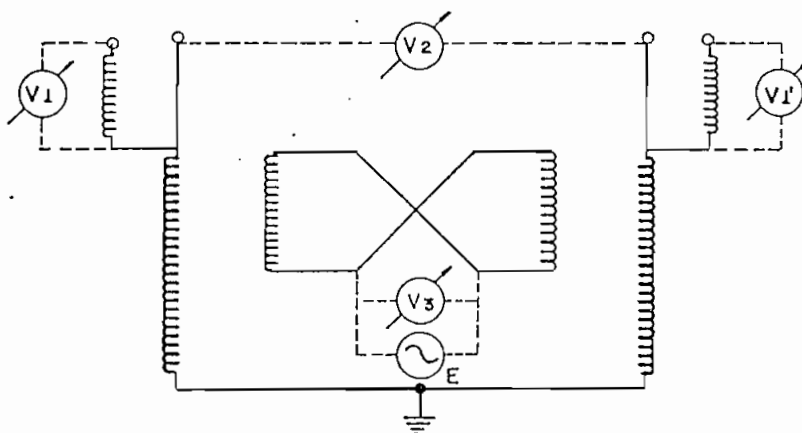


Figura # 11

Los resultados se indican en la tabla # 8.

TABLA # 8

V_1 (V)	V_1' : (V)	V_2 (V)	V_3 (E) (V)	$a = \frac{V_2}{V_3}$
0,54	0,54	250*	0,55	454,55
1,14	1,14	520	1,16	448,3
1,91	1,91	873	1,93	452,3
2,61	2,61	1190	2,63	452,47
4,34	4,34	2000**	4,35	459,77
6,55	6,55	3000	6,56	457,3
8,7	8,7	4000	8,7	459,7

* Los valores bajos de voltaje (hasta 1190 V) fueron medidos con el multímetro digital

** Los valores de voltaje de 2000 V a 4000 V fueron medidos con el Kilo voltímetro.

En la foto # 31 puede apreciarse el momento en que se realiza una de éstas pruebas



Foto # 31

Conclusiones: La relación de transformación esperada es de

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{100.000 \text{ V}}{220 \text{ V}} = 454,55$$

Sacando los promedios de la prueba a) obtenemos una relación de transformación

$$\bar{a} = \frac{V_2}{V_1} = 452,28$$

de la prueba b)

$$\bar{a} = \frac{V}{V_1'} = 454,02$$

de la prueba c)

$$\bar{a} = 454,92$$

Por lo tanto creemos que éstos valores están dentro de límites aceptables.

CAPITULO VIII

VIII CONCLUSIONES. RECOMENDACIONES

Como este es un trabajo que no se ha terminado y que debe proseguir cuando se fabriquen los aisladores pasatapas adecuados, se deben en este punto hacer ciertas sugerencias para continuar con el armado final del transformador.

En principio se pensó que el devanado terciario, solo se utilizaría para compensar los desbalances de flujo producidos por la excitación desequilibrada pero más tarde se le vió otra utilidad, y es que excitando este devanado el cual tiene uno de los terminales conectado al núcleo, podemos obtener tensión a 150 KV para un rectificador de onda completa. Esto puede verse más claramente en la figura # 12.

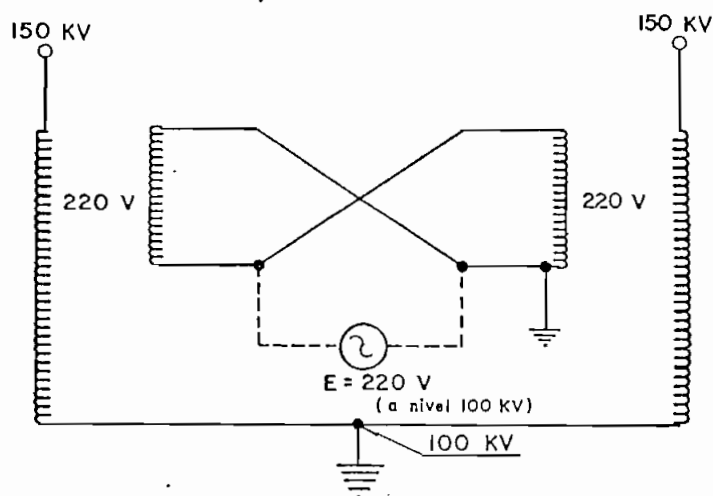


Figura # 12

Por lo tanto es necesario para este propósito, sacar al exterior del tanque, terminales del devanado terciario, teniendo presente que no existen requerimientos de aislamiento con respecto al tanque, mayores de 220 (V).

Para tener acceso a este devanado, el mejor método es insertar dentro del tanque, el mismo tipo de conector que se usará para conectar la tensión de 220 V a nivel 100 KV en el devanado primario y que irá dentro de la bola-terminal, y situarlo en el tanque a 5 cm del borde superior, ya que, más abajo la presión de aceite es mayor lo que puede provocar filtraciones, y más arriba sería una molestia para el manipuleo de la tapa y del tubo que se habrá de instalar para evitar el efecto corona debido a los bordes y del cual se hablará a continuación.

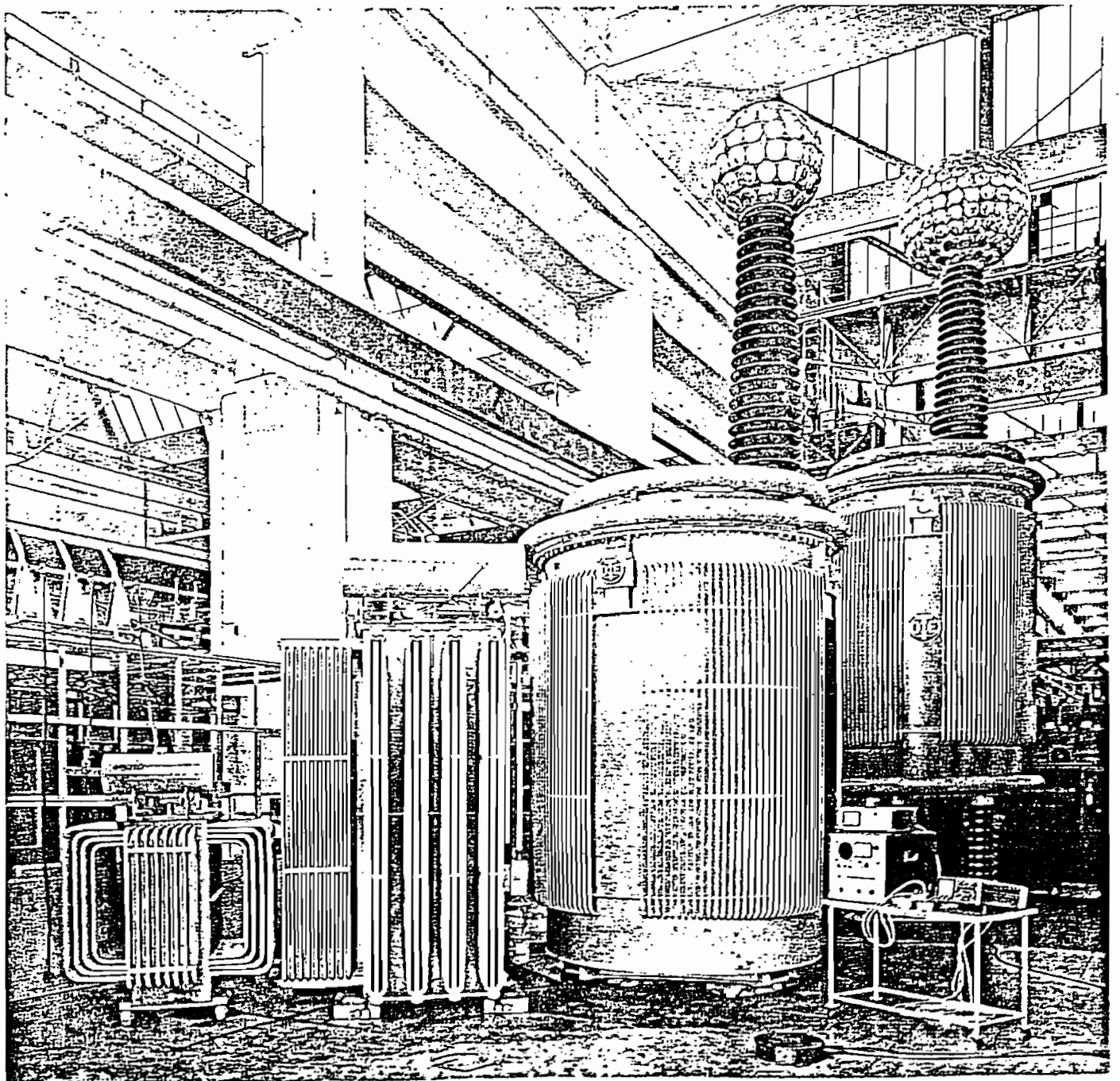
Según consta en la tesis de diseño (1), los bordes superiores e inferiores del tanque deben tener una forma redondeada, con un radio mayor o igual a 2,9 cm., como es muy difícil en nuestro medio construir un tanque con tales características, se ha optado, por rodear al tanque en su parte superior e inferior, con un tubo metálico de 3", llamado "tubo de escape" y que puede adquirirse en "Comercial Cobo". Este tubo puede doblarse fácilmente, ya que, es anillado, y no es difícil de instalar, ya que, puede ir sujeto al tanque mediante pletinas, tal como se indica en la fotoscopia

que se presenta a continuación.

Para asegurar el transformador dentro del tanque, se han construido unas piezas, que habrán de perforarse y luego soldarse en el fondo del tanque, pero esto después de haber seleccionado el aislador pasatapas adecuado, ya que, si estas piezas se soldasen antes, estorbarían las labores de pruebas de los aisladores. Posteriormente habrán de soldarse las tres piezas de acero figura # 13 y que ya están construidas, que servirán para izar el transformador, así como los tres discos de acero foto # 32, en los cuales se insertarán los pernos superiores de los aisladores de soporte.



Foto # 32



Los aisladores de soporte, deben ponerse en tándem de a dos de manera de formar tres columnas, las cuales van sobre la pieza con forma de estrella foto # 33 y a su vez, éstos encajarán en los discos con dos perforaciones que van soldadas en la base del tanque. En la figura # 14 se indican las posiciones en que deben ir soldadas estas piezas.



Foto # 33

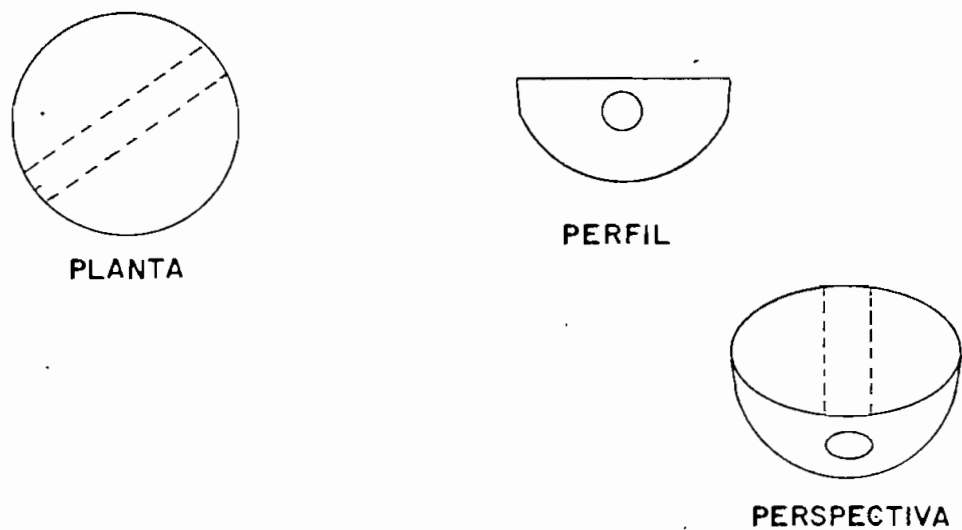


Figura # 13

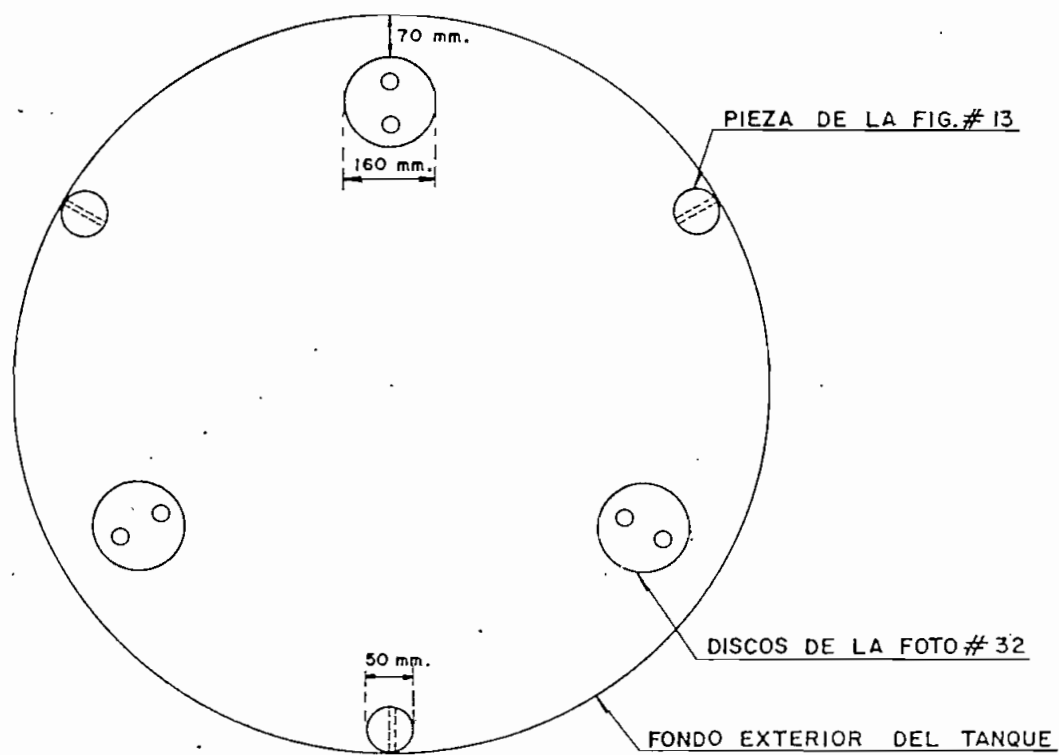


Figura # 14

REFERENCIAS

1.- CEVALLOS RAMIRO

Diseño de un transformador de 100 KV para pruebas de Laboratorio en Alta Tensión.

Tesis Juilio, 1970.

2.- ALVAREZ RAMIRO

Diseño y Construcción de un transformador monofásico de distribución.

Tesis, Julio 1970

3.- CORRALES JUAN MARTIN

Teoría, Cálculo y Construcción de Transformadores

La Escuela del Técnico Electricista, Editorial Labor

4.- KNOWLTON A

Manual Standard del Ingeniero Electricista, Editorial Labor

1969.

5.- LANGSDORF A

Teoría de las máquinas de Corriente Alterna

Ediciones Rebosan, 1977.