



D-6526

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA**

Diseño de un Transformador Monofásico de  
Distribución por medio de un Programa de  
Computación

**TESIS DE GRADO**  
**Previa a la Obtención del Título de**  
**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**  
**Especialización "POTENCIA"**

Presentada por:

**ARMANDO ALTAMIRANO CHAVEZ**

*Guayaquil - Ecuador*

1 9 8 1

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
Departamento de Ingeniería Eléctrica

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR  
MONOFÁSICO DE DISTRIBUCION  
POR MEDIO DE UN PROGRAMA -  
DE COMPUTACION.

Director de Tesis

Autor

---

Ing. RODRIGO BERREZUETA

---

Sr. ARMANDO ALTAMIRANO CHAVEZ

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad de los hechos, ideas y Doctrinas expuestas en esta Tesis, corresponden exclusivamente a su Autor; y, el patrinomio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales).

### DEDICATORIA

Esta tesis dedico a mis padres, esposa e hijos que supieron en todo momento guiarme, cuyo sacrificio y anhelo de que me superara, hicieron todo lo posible para que culminara mi carrera universitaria.

15/12/2011

## AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento al Ing. Rodrigo Berrezueta, por su acertada Dirección y Colaboración en la culminación de este trabajo. Además, quiero dejar constancia de mi gratitud a los ingenieros Gustavo Bermúdez y José Layana por la ayuda brindada para realizar la presente obra.

Finalmente mi agradecimiento a todas las personas que contribuyeron en alguna forma para que terminara ya sea mis estudios o este libro.

\*\*\*

## I N D I C E

	Pág.
1. INTRODUCCION .....	
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Importancia de los transformadores ....	3
2. CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS TRANSFORMADO- RES.	
2.1 Núcleos .....	5
2.1.1 Importancia de los materiales ferro magnéticos. ....	6
2.1.2 Propiedades generales de los mate- riales magnéticos. ....	7
2.1.3 Características y curvas de imana- ción de los materiales magnéticos..	9
2.1.4 Material magnético para el núcleo - de transformadores de distribución.	11
2.2 Bobinas .....	14
2.3 Aislantes .....	16
2.4 Aceites .....	17
2.5 Rendimientos y pérdidas .....	18
3. DISEÑO DEL TRANSFORMADOR .....	
3.1 Generalidades .....	21
3.2 Criterio de diseño óptimo .....	22
3.3 Características del transformador a dise- ñarse. ....	23
3.4 Hipótesis matemática para el diseño me- diante el computador. ....	25
3.4.1 Relaciones Fundamentales .....	26
3.4.1.1 Area transversal del núcleo	27
3.4.1.2 Altura de la ventana del nú- cleo. ....	29

	Pág.
3.4.1.3 Ancho de la ventana del núcleo. ....	30
3.4.1.4 Aislamientos .....	32
3.4.1.5 Sección de los conductores. ....	34
3.4.1.6 Pérdidas en el hierro ...	34
3.4.1.7 Pérdidas en el cobre ....	35
3.4.1.8 Rendimiento .....	35
3.4.1.9 Caídas de cortocircuito ..	36
3.4.1.10 Corriente de excitación ..	38
4. PROGRAMA DE COMPUTACION .....	
4.1 Generalidades .....	41
4.2 Diseño de un transformador de distribución a partir de un conductor dado. ...	43
4.2.1 Desarrollo del Programa A .....	44
4.2.1.1 Subrutinas CURVA y EXCI ..	45
4.2.1.2 Subrutina TRAF0 .....	52
4.2.1.2.1 Dimensión de las bobinas y el núcleo. ....	53
4.2.1.2.2 Cálculo del peso del cobre y del núcleo. ....	58
4.2.1.2.3 Cálculo de las pérdidas - en el cobre y en el hierro. ....	59
4.2.1.2.4 Cálculo del rendimiento, las caídas de cortocircuito y corriente de excitación. ....	59
4.2.1.3 Programa "Diseño 1" ....	60
4.3 Diseño de un transformador de distribución a partir de un núcleo y un conductor dado. ....	71
4.3.1 Desarrollo del Programa B .....	71
4.3.1.1 Subrutina TRAF1 .....	71
4.3.1.1.1 Dimensionado de - las bobinas. ...	72

	Págs.
4.3.1.2 Programa "Diseño 2" .....	75
4.4 Ejemplos .....	87
4.4.1 Resultados para el Programa A ...	87
4.4.2 Resultados para el Programa B ...	93
4.4.3 Análisis de Resultados .....	99
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	100
ANEXO .....	114
APENDICES .....	129
BIBLIOGRAFIA .....	142

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1 GENERALIDADES

El presente trabajo tiene por objetivo el diseño de transformadores de distribución de 7620/240/120 voltios de tipo "acorazado" utilizando para ésto un programa de computación. Se consideran dentro de este proyecto ciertos aspectos de ingeniería mezclados con otros de tipo técnico; se da así mismo, gran importancia al diseño realizado por la fábrica de transformadores INATRA, y la mayor parte de la secuencia seguida a través de los diferentes pasos del diseño fueron obtenidos con ayuda del Jefe de Planta, de la fábrica referida.

La introducción de programas de computación se lo realiza sencillamente por que con esto se logra una mayor confiabilidad y versatilidad al diseño logrado. Los aspectos de construcción para el diseño dependen de la maquinaria que posea cualquier fábrica para la elaboración del conjunto núcleo-bobina.

Es conveniente resaltar que en el país, la empresa impulsadora en el diseño y construcción de transformadores es INATRA única en su género; pues por lo general el resto de las empresas se dedican a la reparación o

ensamblamiento de los transformadores.

Se quiere lograr además que con la obra que se presenta se cree un incentivo para el desarrollo de la industria ecuatoriana y tratar en lo posible que en un futuro cercano el diseño y construcción de transformadores sea elaborado completamente en el país.

Fundamentalmente, se deja la iniciativa e inquietud para que el presente trabajo se explaye en una forma secuencial, determinando las posibilidades de desarrollo de acuerdo a la facilidad de obtener la materia prima (láminas y conductores).

Dentro de este trabajo se da ya la primera alternativa posible cual es la de que no exista la maquinaria necesaria para el armado de los núcleos, sino que éstos se importen; en este caso se realiza un nuevo programa que se lo ha denominado PROGRAMA B, el que considera el hecho que mencionamos. Se puede incluso variar constantes, características del material, aislamientos, distribución de bobinas para lo cual se requiere un esfuerzo mínimo considerando que ya se tiene un programa base.

Inicialmente en este trabajo se considera necesario hacer un recordatorio de las características físicas de los transformadores para luego entrar de lleno a la parte más importante que es el diseño propio del transformador utilizando el computador.

## 1.2 IMPORTANCIA DE LOS TRANSFORMADORES.-

Los transformadores son máquinas estáticas de inducción destinados a transferir la energía eléctrica de un circuito a otro, utilizando, como enlace principal entre ambos, un flujo común de inducción.

La construcción de los transformadores, por ser máquinas estáticas, ofrece menores dificultades que las otras máquinas eléctricas rotativas, pero tanto en su reparación como en su construcción, deberán observarse normas precisas para que su funcionamiento sea correcto, pues de una perfecta reparación o un buen diseño se obtiene que el transformador trabaje con las menores pérdidas y la mayor eficacia.

La necesidad de los transformadores obedece en la práctica a las siguientes razones: Por una parte, es conveniente a veces separar eléctricamente el circuito de alimentación, del circuito de utilización de la energía, ya por las condiciones de puesta a tierra en uno u otro ya para aislar el segundo contra los potenciales elevados a que puede encontrarse el primero. Haciendo uso de un transformador, se consigue fácilmente el objeto propuesto.

La posibilidad esencial de los transformadores, por la cual adquieren toda la importancia que industrialmente los caracteriza, es la de modificar los factores (ten -

sión e intensidad) de la potencia eléctrica transmitida, adaptándolos a las condiciones óptimas que se precisen: tensiones elevadas y bajas intensidades para la distribución a los centros de consumo, y voltajes reducidos e intensidades inversamente considerables en las redes de consumo inmediato. Todo ello, con un rendimiento que supera al de cualquier otra clase de aparatos donde intervengan transformadores de energía de la naturaleza que fuere: mecánica, térmica, química, eléctrica, inclusive.

En un transporte de energía a gran distancia se producen cambios de voltaje, desde el lugar de generación hasta el de consumo, por medio de transformadores estáticos de corriente alterna en una forma cómoda y económica.

## CAPITULO II

### CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS TRANSFORMADORES

#### 2.1 NUCLEOS

Los dos tipos fundamentales de estructura de transformadores son el tipo "núcleo", en el cual dos grupos devanados abrazan a un núcleo único, según se indica en la figura # 1, y el tipo "acorazado", en el cual el flujo que atraviesa a un único grupo de devanados está compuesto, al menos, por dos componentes existentes en circuitos magnéticos en paralelo, según se indica en la figura # 2. Una modificación de este tipo es el llamado tipo acorazado distribuido, indicado en la figura 3. Además por la necesidad de obtener unas características eléctricas convenientes, la elección del tipo de construcción del núcleo se ve influenciada por un cierto número de consideraciones prácticas, tales como el costo de construcción y reparaciones, exigencias de espacio, refrigeración, aislamiento y robustez mecánicas.

Los núcleos de transformadores para sistemas de potencia suelen construirse con láminas de hierro silíceo. En los tipos tradicionales indicados en la figura 1, 2 y 3, se emplea generalmente acero al silicio que contiene un 4% de silicio, puesto que este material proporciona un buen compromiso entre el costo, facilidad de manipulación, pérdidas pequeñas por histéresis y por corrientes de Foucault y gran permeabilidad a inducciones



FIG. 1. Transformador tipo núcleo



FIG. 2. Transformador tipo acorazado

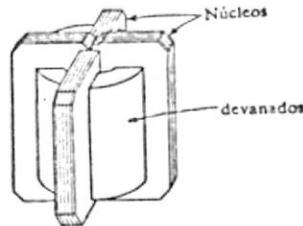


FIG. 3. Transformador tipo acorazado distribuido

magnéticas relativamente elevadas. Dando a esta aleación un tratamiento térmico adecuado, se obtiene un material que, comparado con el hierro, tiene mejores propiedades magnéticas para campos magnéticos débiles y una resistividad mayor.

Antes de escoger el tipo de material adecuado para el núcleo de nuestro diseño nos detendremos a realizar un corto estudio acerca de los materiales magnéticos, su importancia, propiedades y características.

### 2.1.1 IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES FERROMAGNETICOS

El aumento de capacidad y el gran rendimiento logrado en el funcionamiento de las máquinas potentes se deben en gran parte a las mejoras de las propiedades magnéticas y de otras propieda -

des físicas de los aceros y a una mejor comprensión por parte de los ingenieros.

La demanda en el mercado de estos materiales es abundante, dado que los campos de aplicación de ellos son vastos y los requisitos de cada aplicación tan diferentes. Ingenieros, físicos y metalúrgicos se han visto obligados a desarrollar gran cantidad de aleaciones ferromagnéticas, cada una de las cuales tiene cualidades especiales precisas para aplicaciones específicas.

#### 2.1.2 PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES MAGNETICOS.

La tecnología metalúrgica, en la actualidad, aún es insuficiente para deducir las propiedades magnéticas a partir de consideraciones puramente físicas, aún conociendo con toda precisión la composición del material. Esto no constituye un gran inconveniente, ya que aunque fuera posible tal predicción, el proceso no sería suficientemente sencillo para tener utilidad. El proceso usual para determinar las propiedades de las aleaciones magnéticas, consiste en efectuar medidas sobre muestras de material fabricado y deducir las propiedades de cada clase. Los datos obtenidos se utilizan entonces para trazar curvas, características del material en cuestión.

De entre las características de los materiales ferromagnéticos, podemos citar las siguientes:

- a) Pueden imanarse mucho más fácilmente que los demás materiales. Esta característica indica una gran permeabilidad relativa.
- b) Tiene una inducción magnética intrínseca máxima muy elevada.
- c) Se imanar con una facilidad muy diferente según sea el valor del campo magnético. Este atributo lleva a una relación no lineal entre los módulos de la inducción magnética y del campo magnético.
- d) Un aumento del campo magnético origina una variación de flujo diferente de la variación que originaría un disminución igual de campo magnético. Este atributo indica que las relaciones que expresan la inducción magnética y la permeabilidad como funciones del campo magnético, no son lineales ni uniformes.
- e) Presentan magnetismo remanente.
- f) Tienden a oponerse a la inversión del sentido de la imanación una vez imantados.

La importancia de algunas de estas características en las aplicaciones particulares de los materiales magnéticos depende de las circunstancias que concurran en cada aplicación.

### 2.1.3 CARACTERÍSTICAS Y CURVAS DE IMANACION DE LOS MATERIALES MAGNETICOS.

La relación entre el campo magnético  $H$  y la inducción magnética  $B$  que crea en un material ferromagnético reviste una importancia extraordinaria en la utilización técnica del material. Es preferible expresarla mediante curvas de imanación normal, que se obtiene trazando una sola curva que pase por los puntos angulosos de una serie de ciclos de histéresis cada vez mayores. En la figura 4, puede verse dicha curva marcada con las letras o a b.

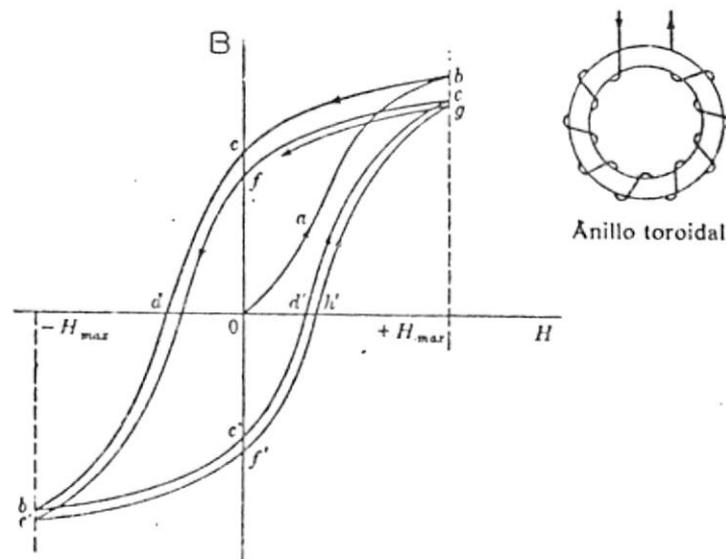


Fig. 4.- Curvas  $B(H)$  para una muestra inicialmente desimantada.



#### 2.1.4 MATERIAL MAGNETICO PARA EL NUCLEO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.

Para los núcleos de los transformadores se utilizan las chapas magnéticas aleadas (chapas silíceas), que existen en el mercado con una diversidad de nombres, según su calidad o procedencia y en este aspecto, es imposible dar una información completa ni aún de los tipos más corrientes, y por lo que a la inducción magnética se refiere, conviene distinguirlos por tres cifras que bastan para definirlos con bastante aproximación. Tales son los amperios-vueltas que corresponden a tres inducciones fijadas y éstas, para transformadores debieran ser las de 10, 15 y 18 KG.

La figura # 6 muestra la curva de inducción para dos tipos de chapas empleadas en transformadores; una de ellas, calidad normal (1,1 w/Kg) obtenida por laminación en caliente; y otra, de pérdidas muy reducidas (0,5 w/Kg) para chapa laminada en frío (orientada).

Es preferible, sin embargo, acudir directamente a la relación:

$$\text{voltamperios por kilogramo} = f(B)$$

que se da en la figura # 7 curvas respectivas deducidas de experiencias sobre transformadores construídos.

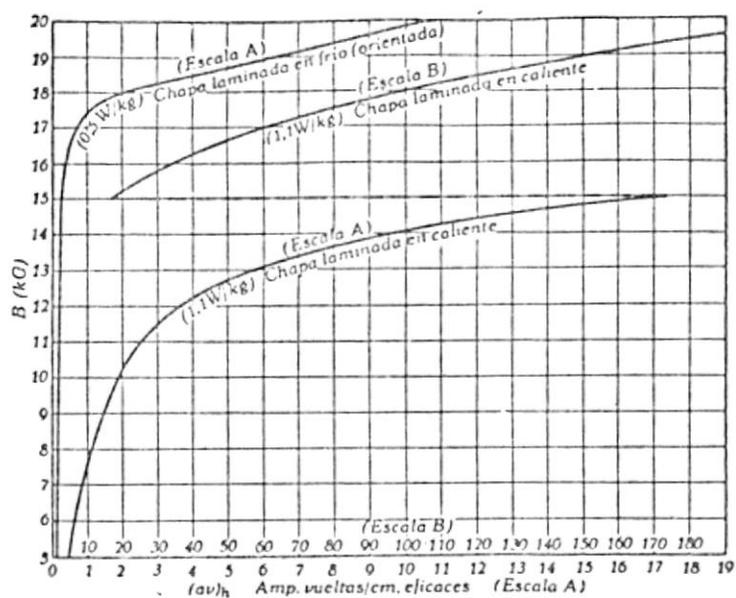


Fig. 6 Características magnéticas de las chapas de los transformadores

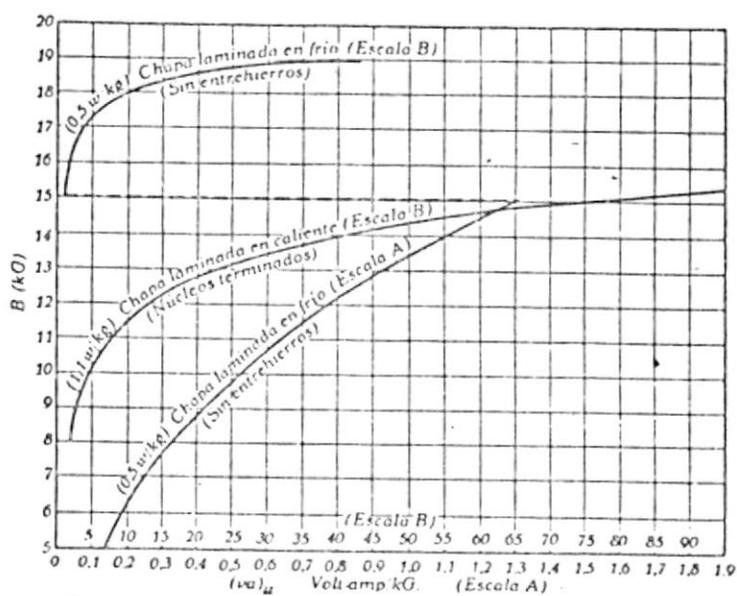


Fig. 7 Potencia inductiva para la excitación de los transformadores

Nótese la enorme diferencia que existe en cualquier caso, para ambas calidades de chapas; a 15000 gauss, por ejemplo, la potencia magnetizante requerida por las chapas laminadas en frío es unas sesenta veces menor que las laminadas en caliente.

En 1934, las experiencias de Goss, en Norteamérica, tomando planchas al 3% de Silicio laminadas en caliente y relaminándolas en frío, con recocidos intermedios a  $1100^{\circ}$ ,  $1250^{\circ}\text{C}$ , sentaron la base de un nuevo proceso que hoy, perfeccionado, ha revolucionado por completo el proyecto y construcción de los transformadores. Las pérdidas con este tipo viene a ser de casi la mitad y la reluctancia, de diez a cien veces menor, que las que se obtienen con las chapas ordinarias relaminadas en caliente, todo lo cual ha permitido elevar con seguridad las inducciones de trabajo hasta unos valores considerados anteriormente como inadmisibles; se llega al punto de que el nuevo límite para aquellas inducciones queda determinado mas bien por el ruido que provoca el paquete de chapas al vibrar mecánicamente y por magnetostricción con inducciones por encima de los 18 o 19 KG.

El inconveniente principal que presentan las planchas laminadas en frío consiste en sus propieda-

des fuertemente direccionales y en la sensibilidad de las mismas a los procesos de mecanizado. Las pérdidas se hacen 2,5 a 3 veces mayores cuando el flujo las recorre en el sentido perpendicular al laminado, con lo cual se anula por completo su ventaja principal, si no es que empeora la situación. El punzonado y corte afectan también a sus propiedades en mayor grado que para las planchas laminadas en caliente. Es preciso, pues, por un lado, adoptar medidas constructivas especiales; y proceder, por otra parte, a un recorrido final de estabilización a 800°C aproximadamente para contrarrestar los efectos del mecanizado. Este último recocido impide el empleo de aislamiento de papel o barnices orgánicos entre chapas. En vista de ello, suelen salir de la fábrica ya aisladas por el método de la fosfatación y presentan una superficie extraordinariamente lisa, que eleva entonces el factor de espacio hasta casi un 95%.

## 2.2 BOBINAS

Los materiales que se emplean para la construcción de las bobinas, tanto primarias como secundarias, varían de acuerdo con las características de servicio a que se van a destinar los transformadores. Son devanadas sobre horma adecuada al tamaño requerido por el transformador. Usualmente son tratadas al vacío, impregna-

das de barniz aislante y recubiertas con cinta aislante, secadas y cocidas al horno.

Los conductores que forman la bobina pueden ser de cobre o aluminio, con hilo circular o de pletina. La bobina terminada tendrá forma cilíndrica o plana o de bloques.

A fin de conseguir mejor aislamiento, mayor impermeabilidad, conductividad térmica y rigidez mecánica suficiente que proteja a las bobinas para resistir los esfuerzos mecánicos, se impregnan antes de montarlas sobre los núcleos. El proceso consiste en un secado previo, al vacío, en caliente, tras el cual las bobinas se sumergen en el barniz aislante, y se procede al secado último según especificaciones especiales para cada tipo de barniz.

Al montar las bobinas de un transformador no acorazado los devanados de alta y baja tensión se separan por capas cilíndricas de material aislante. Deben dejarse espacios anulares para la libre circulación del aire de refrigeración, si el transformador es de tipo seco, o bien la del aceite refrigerador, si es de este tipo. El desplazamiento de las capas producido por la capa o por esfuerzos de cortocircuito, debe evitarse mediante hormas y abrazaderas apropiadas.

En los transformadores acorazados las bobinas se mon -

tan con capas de separación entre las partes de alta y baja tensión, hechas de cartón fuerte impregnado en aceite aislante. Los conductos para la ventilación en sentido vertical están formados por ángulos o canales hechos del mismo cartón. Todo el grupo de bobinas que llena la ventana del núcleo es aislado de éste por una envoltura exterior del mismo material de cartón asegurándose firmemente a fin de resistir los esfuerzos de cortocircuito.

De acuerdo con los diseños especiales de cada fabricante, las bobinas de los transformadores se hacen por diferentes métodos y formas, tendiendo todos a buscar como fines principales: eficiencia, bajas pérdidas y larga duración, dentro de lo más económico posible, a fin de conseguir un costo menor.

### 2.3 AISLANTES

Los hilos de sección circular y de pletina se encuentran en el comercio, ya aislados, en una de las siguientes formas: con esmalte, con esmalte y una o dos capas de algodón, con una o dos capas de seda, con una o dos capas de papel, y con una, dos o tres capas de algodón, pero pueden obtenerse con cualquier número de capas (de papel, algodón, mixtos, etc.) que interese hasta conseguir el espesor de aislamiento deseado.

Los hilos esmaltados (hoy, casi exclusivamente de esmal

tes sintéticos) o con varias capas de papel y las pletinas con cintas de papel, reforzadas por hilo o trenza final de algodón, son los más comunmente usados para transformadores.

La madera en bloques, listones y cuñas es otro de los elementos que se aplican abundantemente en la construcción de los transformadores, como separadores y guías entre bobinas, soportes de las cabezas y; en general, con fines estructurales y aislantes a la vez. Se emplean calidades duras (guayacán, laurel y similares), absolutamente libres de humedad por tratamiento al horno e impregnadas en aceite de transformador o barniz.

#### 2.4 ACEITES

La producción de transformadores de gran tamaño se hizo posible mediante la inmersión en aceite de toda la estructura, el cual sirve para el doble propósito de facilitar la extracción del calor del núcleo y los devanados y al propio tiempo proporcionar propiedades aislantes apreciablemente buenas. El aceite deberá tener gran rigidez dieléctrica, poca viscosidad, punto de congelación bajo y punto de ignición elevado, debiendo estar exento de ácidos corrosivos, álcalis y azufre. El aceite no debe oxidarse ni formar barro. Desgraciadamente la presencia de pequeñas cantidades de humedad o de partículas en suspensión afecta seriamente a la rigidez dieléctrica del aceite, por lo que los

transformadores grandes se proveen de medios especiales para evitar la penetración de humedad.

Antiguamente se utilizaba exclusivamente el aceite mineral, pero más recientemente se han producido líquidos sintéticos clasificados como aceites. Estos aceites sintéticos (designados Askarel en la America Standards) son hidrocarburos clorados, conocidos por nombres comerciales tales como Pyranol, Inerteen, Chloretol y Asbestol; poseen todas las ventajas del aceite mineral como agente aislante y refrigerador y además tienen la valiosa propiedad de no ser inflamables ni explosivos; resultan más costosos que el aceite mineral, porque los barnices, gomas y aglutinantes empleados generalmente en los equipos en aceite, no pueden utilizarse porque son solubles en aquellos. El aceite mineral se usa en la mayoría de los casos en los que su empleo no está prohibitivo por los reglamentos de seguros contra incendios.

## 2.5 RENDIMIENTOS Y PERDIDAS

En los transformadores, el valor del rendimiento debe ser muy elevado, y el de las pérdidas muy insignificante, pues de lo contrario, el transformador se habrá diseñado mal ya que, generalmente, pueden aceptarse como buenos aquellos transformadores cuyas pérdidas no alteren el rendimiento del transformador arriba del 95% , tratándose de transformadores pequeños, y 97,5% si son

transformadores de tamaños que excedan 75 kva.

Para tener una mejor idea sobre este tema, se da a continuación algunas indicaciones sobre un transformador - de bajas pérdidas y alto rendimiento.

El transformador ideal es aquel cuyo diseño fué hecho - de acuerdo con las siguientes reglas:

- a) Que el diseñador utilice en la construcción del núcleo lámina especial de la mejor calidad.
- b) Que dicha lámina sea trabajada a una inducción magnética adecuada a su clase, mediante un estudio preciso de sus curvas que, por lo general son suministradas por el fabricante de la lámina.
- c) Que el corte y construcción del núcleo sea efectuado en máquinas y por personas altamente especializadas con objeto de que el ensamble sea de la máxima perfección, pues cuando las diferentes láminas que forman el núcleo son cortadas defectuosamente, o el operario al ir ensamblándolas, lo hace en forma descuidada, en el momento de la prueba se encuentra un gran porcentaje de pérdidas que ocasionan una vida mucho más corta del transformador debido al calentamiento por histéresis.
- d) Que los devanados, tanto primario como secundario, se verifiquen tomando en cuenta los factores siguientes: medios de disipación para el calor generado, densidad en amperes por milímetro cuadrado en

el cobre, aislamiento entre fases, bobinas y capas y, -  
por último, la perfección de la mano de obra necesaria.

### CAPITULO III

#### DISEÑO DEL TRANSFORMADOR

##### 3.1 GENERALIDADES

El diseño de transformadores monofásicos de distribución compromete actualmente al diseñador con varios problemas técnicos. Sin embargo las leyes que rigen el comportamiento de este tipo de maquinarias, como los materiales que se usan en su fabricación, son bien conocidos.

La configuración técnica de un transformador de distribución está determinada por las siguientes características:

Potencia Nominal  
Tensión Primaria  
Tensión Secundaria  
Pérdidas en el hierro  
Pérdidas en los devanados  
Tensión de Cortocircuito  
Frecuencia

Estos son las llamadas características fundamentales de funcionamiento.

Seguidamente el diseñador deberá respetar los imperativos permanentes que existen para toda clase de diseños,

tales como:

Limitaciones térmicas

Limitaciones magnéticas

Limitaciones Mecánicas

Puede verse entonces que el diseñador debe respetar las características demandadas por el cliente y/o las normas; y aquellas determinadas por los materiales usados.

Podría ser entonces que el problema de diseñar un determinado tipo de transformador consiste en lograr las imposiciones de las normas o cliente respetando las limitaciones de los materiales empleados. Sin embargo, el hecho de diseñar un transformador tal como se ha expresado necesariamente con la parte económica que viene involucrada en todo problema de diseño.

En consecuencia, un buen diseño será aquel que, además de cumplir con las características demandadas y de respetar las limitaciones de los materiales usados, debe cumplir con una condición económica.

La elección de los materiales está influida por los costos y el continuo desarrollo de materiales mejores, mantiene al diseño en continua evolución.

### 3.2 CRITERIO DE DISEÑO OPTIMO

El método a seguirse para el diseño del transformador -

comprende el cálculo de los parámetros eléctricos y magnéticos, las características y dimensiones del transformador.

En base a los datos de placa, parámetros fijos y los valores de especificación se determinan los valores iniciales de los parámetros variables; de esta manera se parte de un diseño inicial factible, que está más cerca del diseño óptimo y en menos iteraciones y tiempo se llegará al óptimo.

Los parámetros variables que son introducidos para llegar al valor óptimo son los que mayor influencia tiene sobre el dimensionamiento y el comportamiento del transformador; específicamente la densidad de flujo, el espesor y la sección transversal de los núcleos, el número de vueltas de las bobinas, etc.

El método maximiza una función de rendimiento del transformador cuya magnitud se desea que vaya aumentando hasta llegar a un valor satisfactorio, que es el óptimo.

### 3.3 CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR A DISEÑARSE

En cuanto al tipo de transformador a diseñarse debido a su construcción, se escogerá el de tipo "acorazado", sumergido en aceite, el que si bien requiere unas condiciones de construcción más especializadas que las del tipo núcleo, se aprovecha en todo caso las característi

cas del material usado, que serán láminas de acero al silicio de grano orientado, con lo que se beneficia el diseño.

Específicamente el material para el núcleo será el presentado en la figura # 8, en la que se encuentran las características magnéticas de la chapa, las que utiliza remos en el diseño del transformador. Conviene notar que este material es el empleado en la única empresa que diseña y construye transformadores en el país, "INATRA".

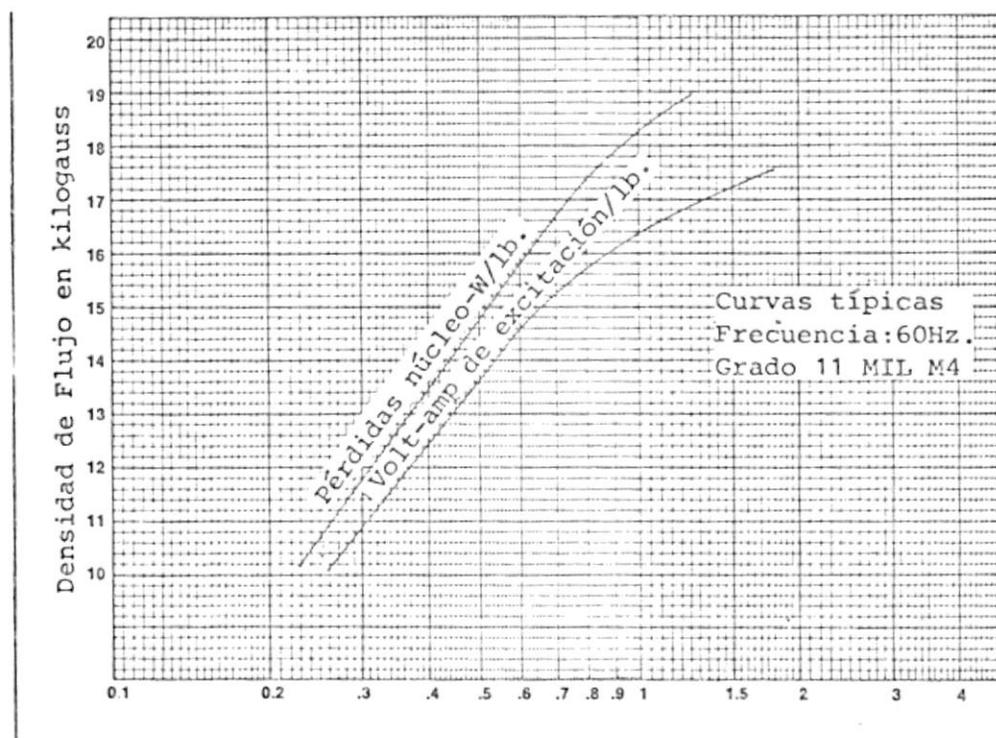


Fig. 8.- Características típicas de funcionamiento

El conductor para los bobinados puede ser de tipo redondo o de tipo rectangular. En el programa de computación se utiliza como ejemplo el uso de conductores rectangulares para las bobinas secundarias y conductores redondos para las bobinas primarias.

El rango de los valores de la potencia de un transformador a diseñarse se la restringe hasta un valor de 50KVA debido que hasta ese valor de potencia, no hay una intervención directa de la temperatura del conjunto núcleo-bobina; y por lo tanto, las pérdidas pueden seguir considerándose reducidas y el calentamiento mínimo.

En cuanto al aislamiento usado para la separación entre bobinas o entre bobinas y núcleo, se utilizará el papel "PRESPAN", que es el que se importa actualmente en el país.

#### 3.4 HIPOTESIS MATEMATICA PARA EL DISEÑO MEDIANTE EL COMPUTADOR.

Matemáticamente visto, el problema de diseñar transformadores posee la característica de que existen más incógnitas que ecuaciones posibles de plantear y resolver.

Someramente se puede mencionar como variables más conocidas las siguientes: densidad de flujo, densidades de corriente, dimensiones de la ventana, pérdidas en los devanados y en el núcleo, impedancia de cortocircuito, etc.

Sin embargo mediante relaciones fundamentales en un caso, de una variable con otra, o usando factores de relación entre las variables, se puede ir obteniendo parámetros iniciales para la mayor parte de las variables y mediante iteraciones llegar al valor óptimo deseado.

### 3.4.1 RELACIONES FUNDAMENTALES

Los datos fundamentales a los que debe ajustarse un transformador son, generalmente, las tensiones primarias y secundarias de línea. En el cálculo ha de partirse de las fuerzas electromotrices respectivas o tensiones en vacío y de las intensidades de plena carga. Como la caída de tensión en los transformadores es pequeña, se prescinde de ella a veces y se calcula en base a los valores nominales de las tensiones.

La fórmula fundamental, es la de la fuerza electromotriz de los devanados, que viene dada por:

$$E = 4,44 * f * \bar{\Phi} * N * 10^{-8}$$

o

$$E = 4,44 * f * B * A * N * 10^{-8}$$

donde:

E = fuerza electromotriz eficaz en voltios

f = frecuencia en hertz

$\bar{\Phi}$  = flujo máximo en maxwells

N = número de espiras

B = densidad de flujo máximo en el núcleo en -  
gaus.

A = sección neta del núcleo en centímetros cua-  
drados.

La frecuencia es un dato de la red, y la densi-  
dad de flujo admisible, determinante de las pér-  
didas por kilógramo de chapa, varía entre lími-  
tes restringidos de acuerdo a las característi-  
cas magnéticas de la lámina, dada en la figura #  
8.

#### 3.4.1.1 AREA TRANSVERSAL DEL NUCLEO

Para guiarnos en la elección del número  
de vueltas de los devanados y del área -  
neta del núcleo, nos basamos en una pri-  
mera tentativa de cálculo en relaciones  
de transformadores ya construídos.

La práctica en diseño y construcción de  
transformadores acumulado por INATRA, -  
nos sugiere que la relación existente en  
tre el área efectiva del núcleo del trans-  
formador a diseñarse y la capacidad del  
mismo, viene determinada por:

$$AEFEC = K_0 * \sqrt{PKVA} * 100$$

donde:

AEFEC = área efectiva del núcleo en mi  
limetros cuadrados.

KO = constante de proporcionalidad  
(20-30).

PKVA = capacidad nominal del transform  
mador en kilovoltios-amperios.

Además, de forma práctica, se sugiere -  
que la relación entre la altura física  
del núcleo y el espesor del mismo tengan  
una proporción que varia entre 1 y 3.

Expresado matemáticamente:

$$HFN = FKN * E$$

donde:

HFN = altura física del núcleo en milím  
metros.

FKN = constante (1 - 3)

E = espesor del núcleo en milímetros

Como el núcleo se lo va a realizar con -  
láminas de acero al silicio de "grano -  
orientado" el factor de utilización es -  
muy elevado, considerándose en el diseño  
el 97%, con lo que la relación entre el

área geométrica del núcleo (AGEOM) y el área efectiva del mismo quedaría:

$$\text{AGEOM} = \text{AEFEC} / 0,97$$

#### 3.4.1.2 ALTURA DE LA VENTANA DEL NUCLEO

Teniendo determinado el valor del número de vueltas de las bobinas se establece el número de capas para las mismas; considerando en el presente diseño la distribución de las bobinas de acuerdo a la figura # 9.

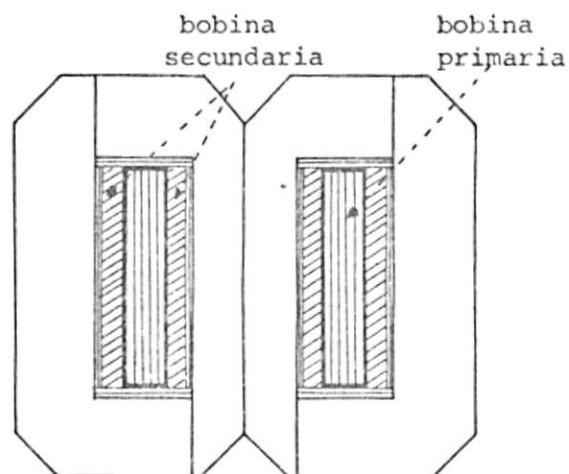


Fig. 9. Distribución de las bobinas en el núcleo

Es decir se tienen dos bobinas secundarias formadas por cuatro capas.

Con otro dato del número de vueltas por capa y además del diámetro del onductor usado se puede hallar la altura de la ventana del núcleo, considerando en el cálculo los cabezales respectivos.

Luego:

$$HVN = ((N2C+1) * A2 * 1.015) + 2*CAB$$

donde:

HVN = altura de la ventana del núcleo en milímetros.

N2C = Número de vueltas por capa en el lado secundario.

A2 = dimensiones del conductor usado en milímetros.

CAB = cabezal en milímetros

El factor de apelamiento para el conductor es considerado como 1,015.

#### 3.4.1.3 ANCHO DE LA VENTANA DEL NUCLEO

En primera aproximación el ancho de la ventana del núcleo, deberá dar cabida a

los bobinados, manteniendo entre ellos y con respecto al núcleo las debidas - distancias de aislamiento.

Para este cálculo se necesita encontrar un primer lugar el espacio de cada bobinado y sumarlos con los respectivos aislamientos.

Luego:

$$AVN = (AISO2 * 2) + (AIS21 * 2) + (ECO2 * 2) + ECO1$$

donde:

AVN = ancho de la ventana del núcleo, en milímetros.

AISO2= aislamiento entre el núcleo y la bobina de baja tensión en milímetros.

AIS21= aislamiento entre las bobinas de baja y alta tensión en milímetros.

ECO2 = espesor de la bobina de baja tensión por el costado, en milímetros.

ECO1 = espesor de la bobina de alta tensión por el costado, en milímetros.

#### 3.4.1.4 AISLAMIENTOS

Dado que se va a diseñar transformadores de distribución a un solo rango de voltaje 7620/240/120 v la distancia en cuanto a aislamiento requerido se debe más a un carácter mecánico que eléctrico, dado el bajo voltaje a utilizarse.

Sin embargo, se considera apropiado dar una especie de fijación a los valores de los aislamientos, a saber:

AIS02	=	4 mm.
AIS11	=	0.2 mm.
AIS22	=	0.3 mm.
AIS12	=	4 mm.
AIS21	=	4 mm.

donde:

AIS11	=	aislamiento entre las bobinas de alta tensión, en milímetros.
AIS22	=	aislamiento entre las bobinas de baja tensión, en milímetros.
AIS12	=	aislamiento entre la bobina de baja y la de alta tensión en milímetros.

Para dar una justificación a los valores utilizados en cuanto a distancia de aislamiento, se da a continuación en tabla I, los valores de los voltajes de ruptura para los diversos espesores del papel "PRESPAN" medidos experimentalmente en la "Escuela Superior Politécnica Nacional" de Quito.

TABLA I  
VOLTAJES DE RUPTURA PARA PAPEL "PRESPAN"

Espesor por capa (mm.)	Capas	Voltaje de ruptura (KV)
0,15	1	1,2
0,15	2	2,8
0,30	1	3,4
0,30	2	6,7
0,60	1	4,8
0,60	2	10,6
1,00	1	7,3
1,00	2	13,6

Fácilmente se puede deducir que de acuerdo a la TABLA I, el aislamiento utilizado en el diseño está sobredimensionado. Adicional a esto, se pudo establecer además, que los valores de los voltajes de ruptura para el papel PRESPAN cuando éste está impregnado de aceite, se eleva en forma considerable. Aproximadamente al doble del anterior.

#### 3.4.1.5 AREA DE LOS CONDUCTORES

Conocida la capacidad del transformador en kilovoltamperios y las tensiones en los devanados, es fácil encontrar la corriente nominal del transformador, con lo que para una densidad de corriente dada se puede determinar la sección de los conductores a usarse.

Como dato práctico, podemos decir que usualmente se utiliza valores de densidad de corriente que fluctúa entre 2,6 y 3,0 amp/mm<sup>2</sup>.

En lo que respecta al diseño, anotaremos que los valores de las dimensiones de los conductores son datos introducidos al programa de computación.

#### 3.4.1.6 PERDIDAS EN EL HIERRO

Para el cálculo de estas pérdidas se determina el paso del hierro y de la curva de pérdidas en la chapa, se deducen las pérdidas en vatios por kilogramo, según la densidad de flujo determinada, multiplicando el paso del

hierro por las pérdidas en vatios por kilogramo se determinan las pérdidas totales del núcleo (PERN), en vatios.

#### 3.4.1.7 PERDIDAS EN EL COBRE

Se calcula también el peso del cobre tanto para el devanado de alta tensión (PCU<sub>1</sub>), como del devanado de baja tensión (PCU<sub>2</sub>), en kilogramos. Con los datos del conductor empleado se determina la densidad de corriente en amperios por milímetro cuadrado.

Con estos datos y de acuerdo a referencia # 1, las pérdidas del cobre pueden ser calculadas por medio de:

$$W = 2,66 * PCU * DENS^2$$

donde: W = pérdidas del cobre a 75°C en vatios.

PCU = peso del cobre en kilogramos.

DENS = densidad del cobre en amperios por milímetro cuadrado.

#### 3.4.1.8 RENDIMIENTO

Conocidas las pérdidas en el hierro (PERN) y en cobre (WT) se puede hallar

las pérdidas totales del transformador -  
(PERT) con:

$$\text{PERT} = \text{WT} + \text{PERN} \quad (\text{vatios})$$

Luego el rendimiento (REND) calculado en  
porcentaje sería:

$$\text{REND} = 100 - \frac{100 \times \text{PERT}}{\text{PKVA} \times 1000 + \text{PERT}}$$

#### 3.4.1.9 CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

La caída óhmica, PERIR, en tanto por cien-  
to de la tensión nominal, es igual a las  
pérdidas en el cobre, WT, en tanto por -  
ciento de la capacidad PKVA, del trans-  
formador.

$$\text{PERIR} = \frac{\text{WT}}{\text{PKVA} \times 10}$$

La caída de reactancia, XIPER, en tanto  
por ciento viene dada de acuerdo a la fá-  
brica de transformadores INATRA y a refe-  
rencia # 4, por:

$$\text{XIPER} = \frac{0,756 \times \text{FR} \times \text{N1P}^2 \times \text{PKVA} \times \text{CON1} \times \text{PM1}}{\text{V1}^2 \times 2 \times \text{CON2} \times 10^3}$$

donde:

N1P = número de vueltas del devanado -  
de alta tensión.

PM1 = perímetro medio de la bobina de alta tensión.

V1 = voltaje nominal de alta tensión

Además:

$$\text{CON1} = \frac{\text{ECO2} + \text{ESF2}}{2} + \frac{\text{ECO1} + \text{ESF1}}{2} + \frac{\text{AIS12}}{3}$$

Y:

$$\text{CON2} = \frac{\text{ECO2} + \text{ESF2}}{2} + \frac{\text{ECO1} + \text{ESF1}}{2} + \text{AIS12}_3 + \text{HEPR}$$

Siendo:

$$\text{HEPR} = \frac{\text{HEB1} + \text{HEB2}}{2}$$

donde:

ECO2 = espesor de la corona del devanado de baja tensión por el costado.

ESF2 = espesor de la corona del devanado de baja tensión por el frente.

ECO1 = espesor de la corona del devanado de alta tensión por el costado.

ESF1 = espesor de la corona del devanado de alta tensión por el frente.

- AIS12 = aislamiento entre los devana - dos de alta y baja tensión.
- HEB1 = altura eléctrica del devanado de alta tensión.
- HEB2 = altura eléctrica del devanado de baja tensión.

#### 3.4.1.10 CORRIENTE DE EXCITACION

Puede considerarse a la corriente de excitación (CEXC), como si consistiese de dos componentes: (1) la componente magnetizante (CMAG) en fase con el flujo magnético, y (2) la componente de "energía" (CENE), adelantada a CMAG por un cuarto de período, y por consiguiente, opuesto en fase a la fuerza electromotriz inducida.

La magnitud de la componente CENE depende de la cantidad de las pérdidas en el hierro solamente porque las pérdidas en el cobre, muy pequeñas, pueden despreciarse.

Si estas componentes pudiesen considerarse de onda sinusoidal, la construcción vectorial de la figura # 10, daría correctamente la magnitud y fase de la corriente de excitación total CEXC. Para

valores de la densidad de flujo por arriba de la inflexión de la curva B - H, - los valores instantáneos de la corriente magnetizante ya no son proporcionales al flujo, y esta componente de la corriente

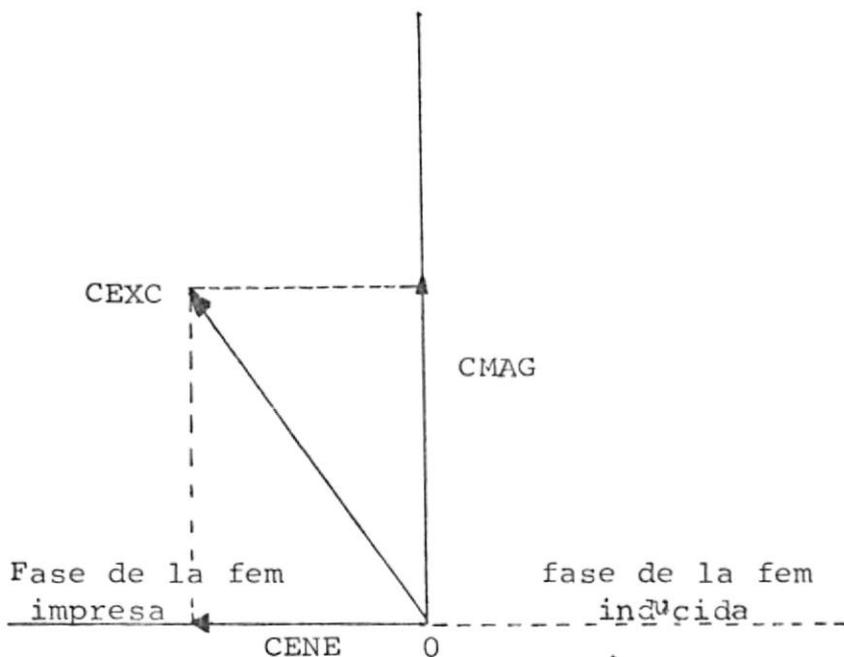


Figura # 10.- Diagrama vectorial mostrando las componentes de la corriente de excitación.

total de excitación no puede considerarse como una onda sinusoidal aunque las variaciones del flujo lo sean. El error inducido al usar la construcción de la figura # 10 es, sin embargo, despreciable, porque la corriente de excitación -

es una fracción muy pequeña de la corriente primaria total.

Para efectos de cálculo recurriremos a las siguientes fórmulas:

$$CMAG = \frac{\text{voltamperios por libra} * \text{peso del núcleo en libras}}{\text{voltaje de baja tensión}}$$

$$cene = \frac{\text{pérdidas del hierro en voltios}}{\text{voltaje de baja tensión}}$$

Luego:

$$CEXC = \sqrt{(CMAG)^2 + (CENE)^2}$$

Calculando la corriente de excitación un tanto por ciento de la corriente nominal.

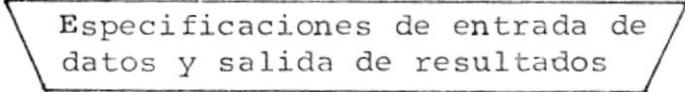
$$CEXC\% = \frac{CEXC * V2}{PKVA * 10}$$

CAPITULO IVPROGRAMAS DE COMPUTACION4.1 GENERALIDADES

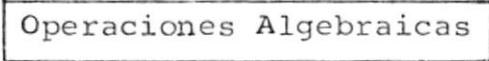
En este capítulo se desarrollarán los programas de computación para el diseño. Para esto se utilizarán diagramas de flujo, donde se destacan las operaciones principales que se realizan.

La forma de los bloques de los diagramas de flujo tienen relación con las operaciones contenidas dentro de ellos.

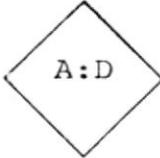
La interpretación que se le dará en este trabajo es la siguiente:



Especificaciones de entrada de datos y salida de resultados



Operaciones Algebraicas



A:D

Este bloque indica comparación de la expresión A con la expresión D.

La condición de comparación se expresa a la salida de una de las aristas del rombo. Este bloque puede también interpretarse como condición. Los diagramas de flujo en conjunto pueden interpretarse como el desarrollo secuencial de los diversos cálculos y como convenio se ha fijado la dirección empezando de arriba hacia abajo.

En los programas del diseño se ha preferido utilizar como símbolo los llamados "símbolos alfanuméricos", en el lenguaje de programación. Los símbolos alfanuméricos, se definen como combinaciones de letras y números que identifican las variables de un programa; simbología que ya ha sido previamente utilizada en el capítulo 3 de esta obra.

Esta modalidad tiene la ventaja de que complementa la explicación del desarrollo del programa, ya que facilita la ubicación de las expresiones en el mismo programa.

También cabe destacar, que una igualdad en el lenguaje de programación tienen un significado diferente de la igualdad algebraica. El signo igual que une dos expresiones en el lenguaje de programación significa que el símbolo de la izquierda del signo "igual" se reemplaza por la expresión o símbolo de la derecha. Por ejemplo:

$$KO = KO + 1$$

Esta supuesta igualdad significa que la variable KO se reemplaza por el cálculo de la expresión  $KO + 1$  estando el valor del símbolo KO definido anteriormente en alguna parte del programa.

En los programas se introducen factores de corrección para utilizar diferentes unidades.

Se vió la necesidad de efectuar esto en virtud a una mayor comodidad en la especificación de los formatos de entrada y salida de datos y resultados, ya que algunas unidades son más representativas que otras. Así, se tiene que, dado el tamaño de los transformadores, las dimensiones en milímetros son las más adecuadas. Lo mismo sucede con las densidades de corriente en amperios por milímetro cuadrado, así como las pérdidas en vatios y los pesos en kilogramos.

Para efecto de diseño desarrollaremos dos programas de computación, los cuales llevan como nombre:

- a) Diseño de un transformador de distribución a partir de un conductor dado.
- b) Diseño de un transformador de distribución a partir de un núcleo y un conductor dado.

#### 4.2 DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION A PARTIR DE UN CONDUCTOR DADO.

En este programa que de aquí en adelante llamaremos programa A, se calcula la parte activa de los transformadores en todos sus detalles. Consta principalmente de:

- a) Cálculo de las dimensiones físicas del núcleo
- b) Cálculo de las bobinas tanto de alta como de baja tensión.
- c) Cálculo de pérdidas en el hierro y en el cobre
- d) Cálculo de las caídas de cortocircuito
- e) Ajuste del rendimiento
- f) Emisión de resultados

#### 4.2.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA A.

El lenguaje de programación es el FORTRAN IV.

El programa es introducido en el computador (IBM 1B0), mediante tarjetas perforadas. Este programa ha sido desarrollado solamente para transformadores de tipo acorazado y que además tengan una bobina de alta tensión y dos bobinas de baja tensión; las bobinas de baja tensión a su vez se encuentran divididas en dos capas.

En lo referente a voltajes, el diseño es para transformadores de 7620/240/120 voltios.

Para efectos de análisis del programa es conveniente, a juicio del autor, dividirlo en tres partes, a saber:

- a) Subrutinas CURVA y EXCI
- b) Subrutina TRAF0
- c) PROGRAMA "DISEÑO 1"

#### 4.2.1.1 SUBROUTINAS CURVA Y EXCI

Estas partes del programa son en realidad similares en su contenido. La única variación en ellas son los datos de entrada y de salida.

Desarrollan en sí un método por medio del cual da ciertos puntos de una curva y utilizando el método de interpolación de Lagrange que se lo explica en detalle en el apéndice A, se determina con bastante exactitud un punto intermedio requerido.

La subrutina CURVA tiene como datos puntos de la curva de magnetización del material usado en la construcción del núcleo, a saber:

Pérdidas del núcleo = f densidad de flujo  
 en vatios por libra                    jo en kilogauss

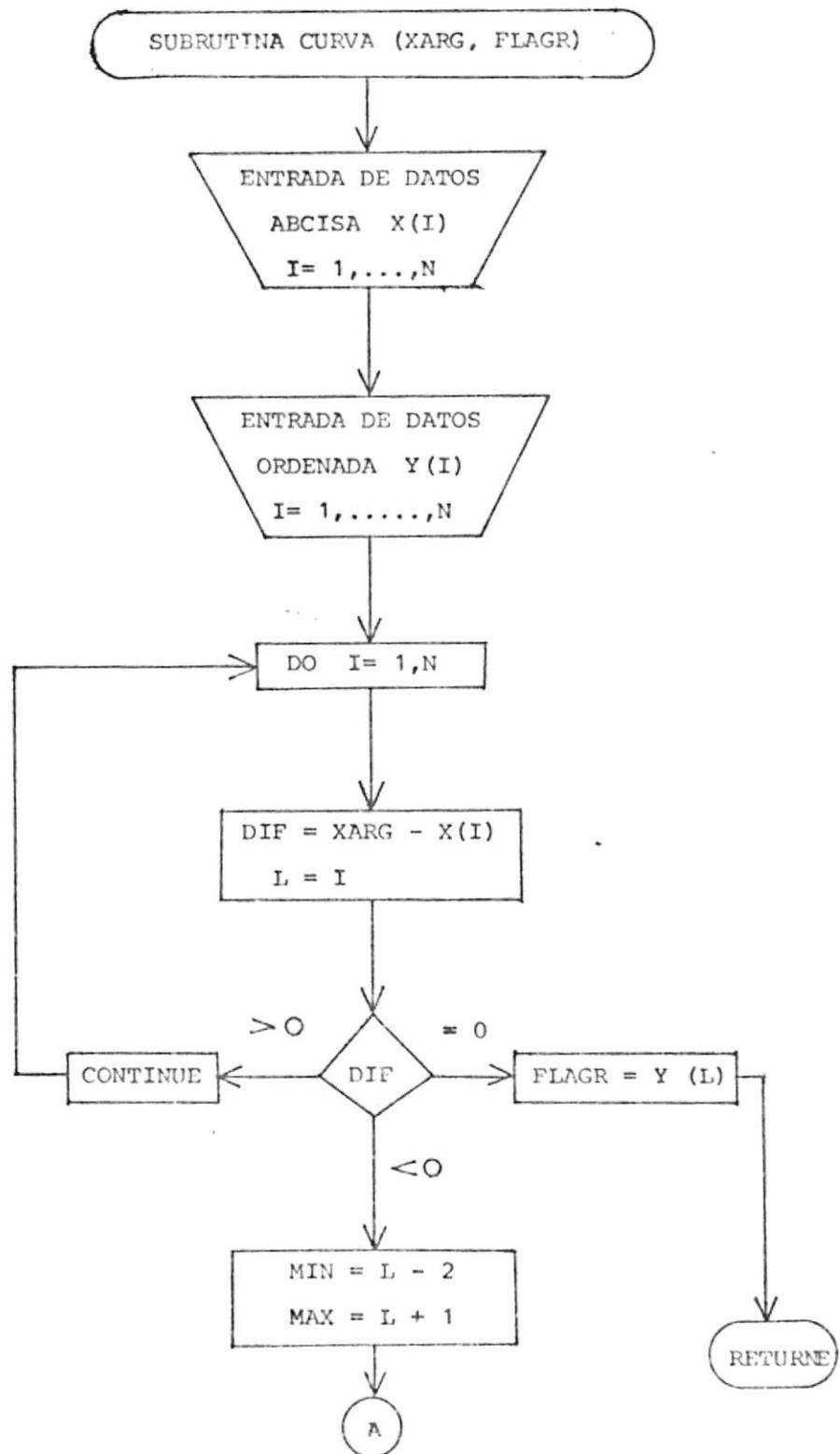
La subrutina EXCI en cambio tiene como datos, puntos de la curva de excitación

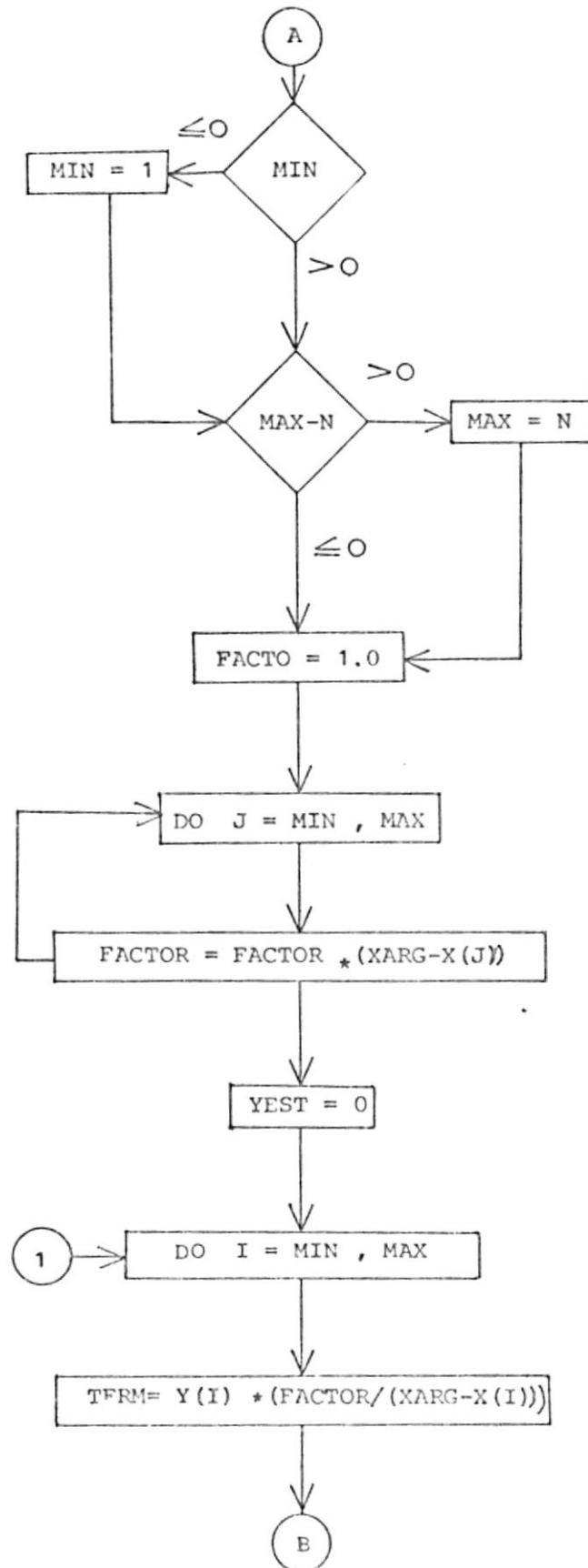
del núcleo, la función:

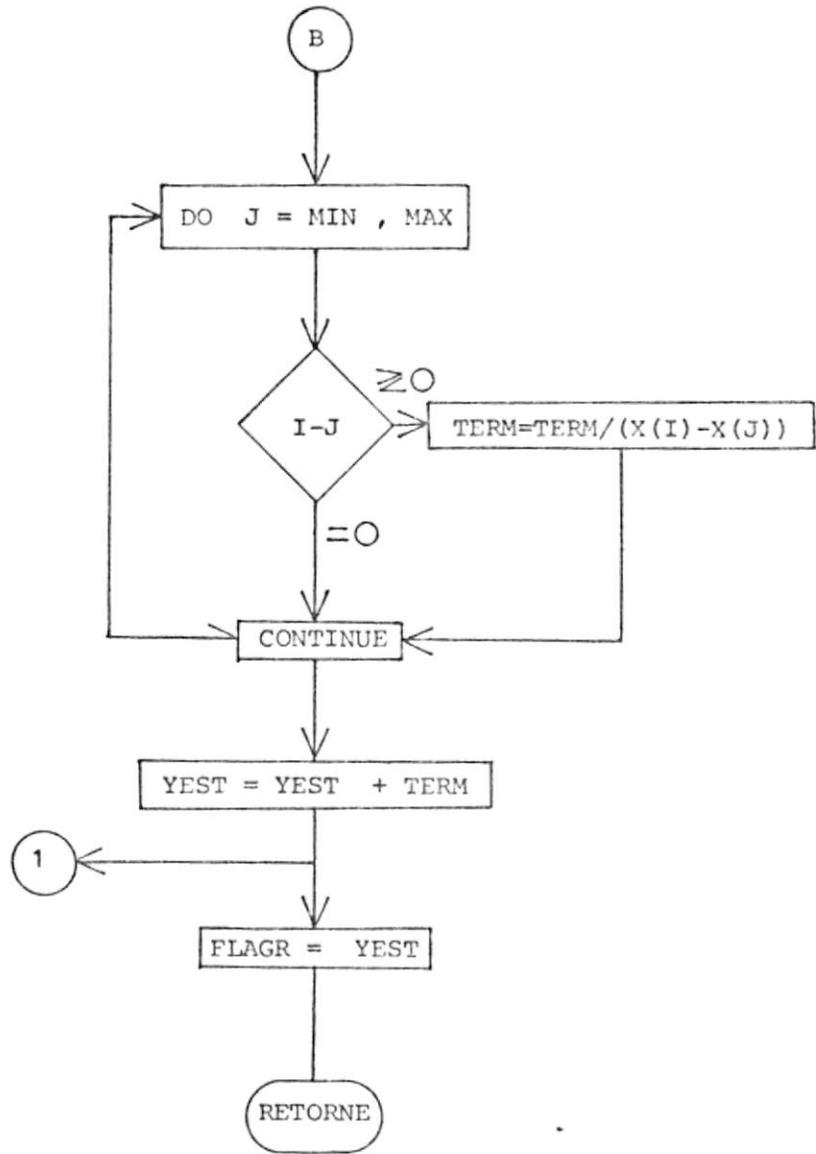
Voltamperios de  $e_x = f$  densidad de flujo  
citación por libra en kilogauss.

A continuación se presenta el diagrama de flujo para la subrutina CURVA. Luego se hallan los programas escritos en el lenguaje FORTRAN IV, tal como se lo han utilizado en este trabajo, - tanto para la subrutina CURVA como para la subrutina EXCI. No se adjunta el - diagrama de flujo del segundo programa por ser similar con el primero

## DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SUBROUTINA CURVA







```

1  *SAVE
2  *EXTENDED PRECISION
3
4
5
6
7  C-ERRS...STNO.C..... F O R T R A N   S O U R C E   S T A T E M E N T S   . . . . . IDENTFCN   **COMPILER MESSAGES**
8
9
10  SUBROUTINE CURVA ( XARG, FLAG )
11  DIMENSION X( 19 ), Y ( 19 )
12  DATA X/ 1.02, 1.07, 1.135, 1.175, 1.25, 1.3, 1.345, 1.4, 1.44, 1.47
13  15, 1.5, 1.56, 1.6, 1.66, 1.7, 1.735, 1.76, 1.79, 1.8 /
14  DATA Y / 0.23, 0.25, 0.28, 0.30, 0.34, 0.37, 0.4, 0.44, 0.47, 0.50,
15  10.57, 0.54, 0.62, 0.69, 0.74, 0.80, 0.84, 0.90, 0.93 /
16  N = 19
17  DO 24 I = 1, N
18  DIF = XARG - X(I)
19  L = I
20  IF( DIF ) 26, 25, 24
21  24 CONTINUE
22  25 FLAG = Y(L)
23  GO TO 36
24  26 MIN = L - 2
25  MAX = L + 1
26  IF( MIN ) 27, 27, 28
27  MIN = 1
28  IF( MAX - N ) 30, 30, 29
29  MAX = N
30  FACTO = 1.0
31  DO 31 J = MIN, MAX
32  FACTO = FACTO * ( XARG - X(J) )
33  YEST = 0.
34  DO 35 I = MIN, MAX
35  TERM = Y(I) * FACTO / ( XARG - X(I) )
36  DO 34 J = MIN, MAX
37  IF( I - J ) 33, 34, 33
38  TERM = TERM / ( X(I) - X(J) )
39  34 CONTINUE
40  35 YEST = YEST + TERM
41  FLAG = YEST
42  36 CONTINUE
43  RETURN
44  END
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

CORE REQUIREMENTS FOR - CURVA  
 COMMON- 0, VARIABLES AND TEMPORARIES- 138, CONSTANTS AND PROGRAM- 218

CART 10 0026 DR ADD 4800 DR CNT 0018

// FOR

\*SAVE

\*EXTENDED PRECISION

C-EPRR...STNG.C..... F O R T R A N S O U R C E S T A T E M E N T S ..... I D E N T F C N \*\*C O M P I L E R M E S S A G E S \*\*

SUBROUTINE EXCI ( XARG, FLAGR )

    DIMENSION X ( 19 ) , Y ( 19 )

    DATA X / 1.0,1.24,1.32,1.36,1.39,1.42,1.46,1.50,1.57,1.61,1.62,1.66

    1.1,1.65,1.70,1.72,1.74,1.75,1.77,1.80/

    DATA Y / 0.3,0.40,0.46,0.50,0.53,0.55,0.5,0.66,0.80,0.90,0.95,1.00,

    21.10,1.2,1.5,1.8,2.0,2.3/

    N = 19

    DO 24 I = 1,N

        DIF = XARG - X(I)

        L = I

        IF (DIF) 26,25,24

    24 CONTINUE

    25 FLAGR = Y(L)

    DO 26 TO 36

        26 Y(L) = L - 2

        MAX = L + 1

        IF (MIN) 27, 27, 28

        27 MIN = 1

        28 IF (MAX - N) 30, 30, 29

        29 MAX = N

        30 FACTO = 1.0

        DO 31 J = MIN, MAX

            31 FACTO = FACTO \* ( XARG - X(J) )

            YEST = 0.

        DO 35 I = MIN, MAX

            TERM = Y(I) \* FACTO / ( XARG - X(I) )

        DO 34 J = MIN, MAX

            IF ( I - J ) 33, 34, 33

            33 TERM = TERM / ( X(I) - X(J) )

        34 CONTINUE

        35 YEST = YEST + TERM

        FLAGR = YEST

        36 CONTINUE

    RETURN

    END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

EXTENDED PRECISION

LOAD 6 GO

SAVE

CORE REQUIREMENTS FOR - EXCI

COMMON - 2, VARIABLES AND TEMPORARIES - 138, CONSTANTS AND PROGRAM - 218

#### 4.2.1.2 SUBROUTINA TRAF0

Es en realidad lo más importante en el diseño. Realiza el cálculo global de las características físicas del transformador en cuanto a dimensiones del núcleo bobinados, pérdidas, caídas de cortocircuito, corriente de excitación y rendimiento.

Se puede decir que es el corazón del diseño. Necesita como datos de entrada: el valor de la capacidad del transformador a diseñarse, la constante (KO) que relaciona el área efectiva del núcleo y los kilovoltamperios del transformador, la constante (FKN) que relaciona el espesor y la altura física del núcleo a diseñarse. Junto a estos datos se establecen datos comunes con el programa principal A que son los valores del conductor a utilizarse y la densidad de flujo empleada.

Internamente además, se encuentran por medio de una proposición DATA los valores de los voltajes de alta y baja tensión, la frecuencia; y, los diferentes valores de aislamiento utilizados para el diseño.

Revisaremos en forma rápida la secuencia seguida por la subrutina TRAF0, para el cálculo de los diversos parámetros.

#### 4.2.1.2.1 DIMENSIONADO DE LAS BOBINAS Y EL NUCLEO.

Inicializa el cálculo determinando el área efectiva del núcleo (AEFEC) por medio de la relación.

$$AEFEC = KO * PKVA * 100 \text{ mm}^2$$

donde el valor de KO es un valor previamente establecido en el programa principal A.

Seguidamente, se da un factor de apilamiento de un 97% para la lámina usada, dada su gran calidad con lo que se determina el área geométrica del núcleo (AGEOM):

$$AGEOM = AEFEC / 0.97 \text{ mm}^2$$

Determinados estos dos valo-

res se procede a encontrar el espesor (E) y la altura física del núcleo (HFN):

$$E = \frac{AGEOM}{2 * FKN} \text{ mm}$$

Y

$$HFN = FKN * E \text{ mm}$$

donde el valor de FKN ha sido previamente establecido y la presencia del factor 2 se debe a que se utilizan dos núcleos para el transformador.

Luego se realiza el dimensionado de las bobinas tanto del devanado de baja tensión como del de alta tensión.

Para esto se determina en primer lugar el número de vueltas del devanado de baja tensión (N2) mediante:

$$N2 = \frac{V2 * 10^6}{4,44 * FR * AEFEC * B} + 1$$

donde:

FR = frecuencia en hertz

B = densidad de flujo en ki  
logauss.

V2 = voltaje del devanado de  
baja tensión.

La presencia del valor 1 hace que se tome para el devanado de baja tensión el número de vueltas enteras, inmediatamente superior.

Seguidamente se halla el número de vueltas por capa del devanado de baja tensión, - utilizando el lenguaje - FORTRAN IV para hacer que esta cantidad sea un número en entero y lógicamente para ha - cer esto se ejecuta un rea - juste en el valor de N2.

Hecho esto, se calcula el nú mero de vueltas del devanado de alta tensión consiguiendo también que sea un número en entero, dejando un margen para la utilización de cambiado - res de tomas en el lado de -

alta tensión de un  $\pm 2,5\%$ .

Luego se calcula el espacio físico en forma vertical que ocuparían las bobinas al que hemos denominado altura eléctrica de las bobinas (HEB1 y HEB2), y se determina la altura de la ventana del núcleo (HVN), dejando un aislamiento (CAB) entre las bobinas y la parte superior e inferior del núcleo.

Para el cálculo del ancho de la ventana del núcleo (AVN) se determina de antemano los valores de los espacios que ocuparían las bobinas en forma horizontal a los que hemos llamado espesores de las coronas por el costado (ECO1 y ECO2) con lo que se puede calcular el ancho de la ventana del núcleo (AVN), dando una tolerancia del 10% para estas dimensiones.

Adicionalmente para efectos

de una mejor refrigeración - de las bobinas es usual colocar ductos en medio de ellas con lo que las dimensiones hacia el "frente" varían con respecto a las del "costado". Para nuestro caso, usaremos 16 mm en el lado de alta tensión y 8 mm en el lado de baja tensión con lo que:

$$ESF1 = ECO1 + 16.0 \text{ mm.}$$

$$ESF2 = ECO2 + 8.0 \text{ mm.}$$

Como hasta aquí se ha realizado un cálculo individual - para los núcleos, al ensamblarlos lógicamente se necesita un cierto espacio para el elemento que los va a mantener unidos, este espacio - normalmente es de 1,5 mm por cada lado, en total 3 mm. Este hecho ya está considerado en el aislamiento que existe entre el núcleo y el lado de baja tensión.

#### 4.2.1.2.2 CALCULO DEL PESO DEL COBRE Y DEL NUCLEO.

Para este efecto se realiza un previo cálculo del perímetro medio tanto del devanado de alta como del de baja tensión, con lo que fácilmente se obtienen los pesos del cobre mediante:

$$PCU1 = (PM1 * N1P * AP1 * 8,9)/10^6$$

Y

$$PCU2 = (PM2 * N2 * AR2 * 8,9)/10^6$$

donde:

PCU1 = peso del cobre del devanado de alta tensión en kilogramos.

PCU2 = peso del cobre del devanado de baja tensión en kilogramos.

PM1 = perímetro medio del devanado de alta tensión en milímetros.

PM2 = perímetro medio del devanado de baja tensión en milímetros.

N1P = número de vueltas del devanado de - alta tensión.

AR1 = área del conductor de alta tensión

AR2 = área del conductor de baja tensión

La presencia de los valores 8,9 y  $10^6$  se deben a la denen

sidad del cobre y a la reducción de unidades. En el cálculo del peso del núcleo intervienen el volumen del núcleo y la densidad de la lámina usada. Para el cálculo del volumen se aproxima a un cuarto de circunferencia las vértices del núcleo determinando en esta forma de una manera rápida y aproximada el volumen del núcleo.

#### 4.2.1.2.3 CALCULO DE LAS PERDIDAS EN EL COBRE Y EN EL HIERRO.

En esta sección se realiza exactamente lo estipulado en los artículos 3.4.1.6 y 3.4.1.7.

#### 4.2.1.2.4 CALCULO DEL RENDIMIENTO, LAS CAIDAS DE CORTOCIRCUITO Y CORRIENTE DE EXCITACION.

Igualmente se utiliza lo mencionado en los artículos 3.4.1.8, 3.4.1.9 y 3.4.1.10.

Observación:

Todos los valores enunciados en los artículos 4.2.1.2 son datos de salida de la subrutina TRAF0.

A continuación se presenta el diagrama de flujo correspondiente para la subrutina TRAF0 y seguidamente el programa - escrito en lenguaje FORTRAN IV, de la - manera como se lo ha descrito.

4.2.1.3 PROGRAMA "DISEÑO 1"

Esta sería el programa principal de A. Dado el conocimiento previo de las subrutinas a usarse, este programa resulta bastante reducido y fácil de interpretar

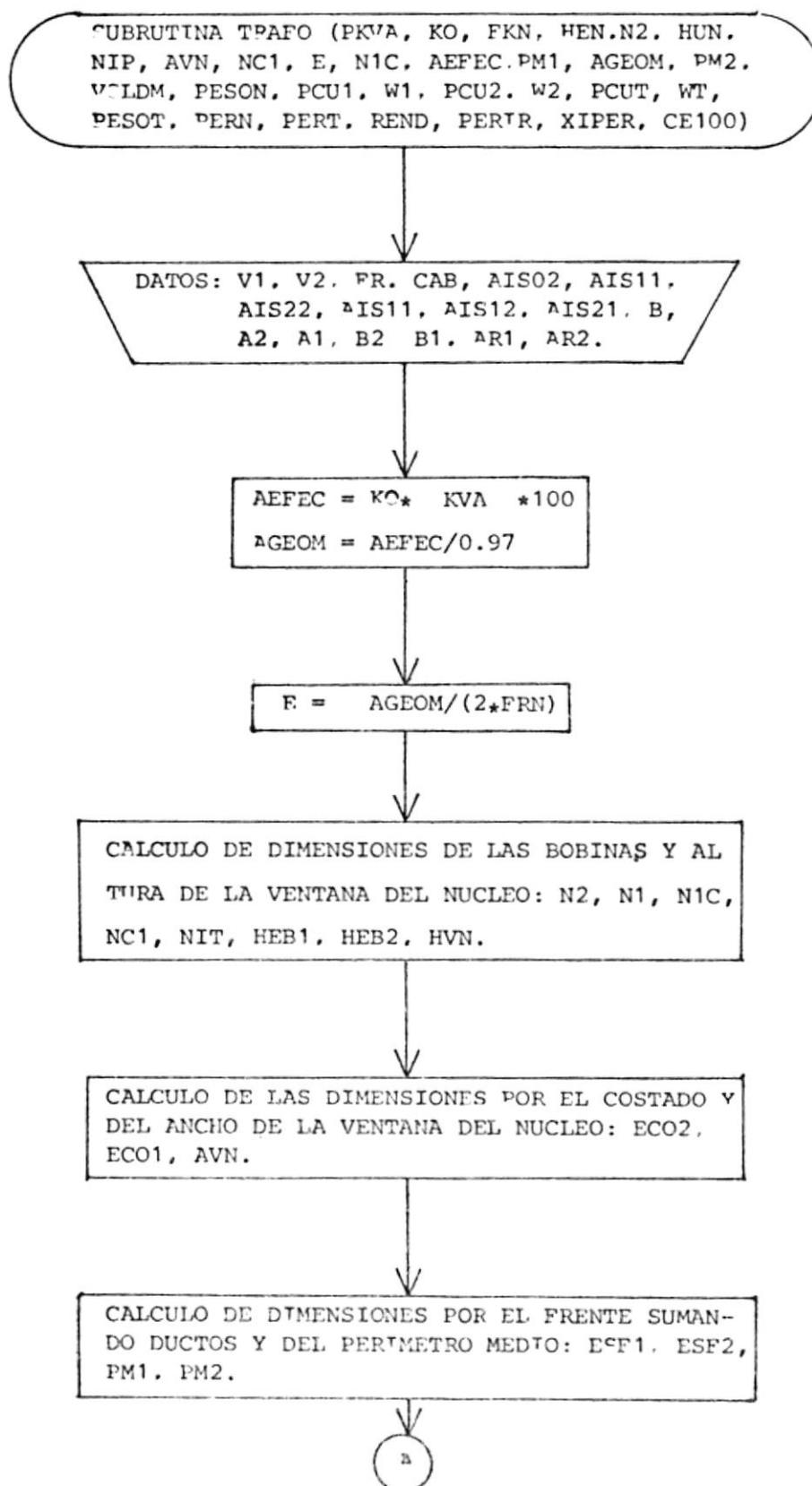
Como información de entrada al programa se necesitan los datos de los conductores que se van a usar y la capacidad - del transformador a ~~ser~~ diseñado. Inter- namente el programa inicializa la densi- dad de flujo en un valor bajo (1,4 kilo- gauss ), y al mismo tiempo el valor de las constantes KO y FKN con lo que lla- ma a la subrutina TRAF0 y ésta le regre- sa los parámetros del transformador di-

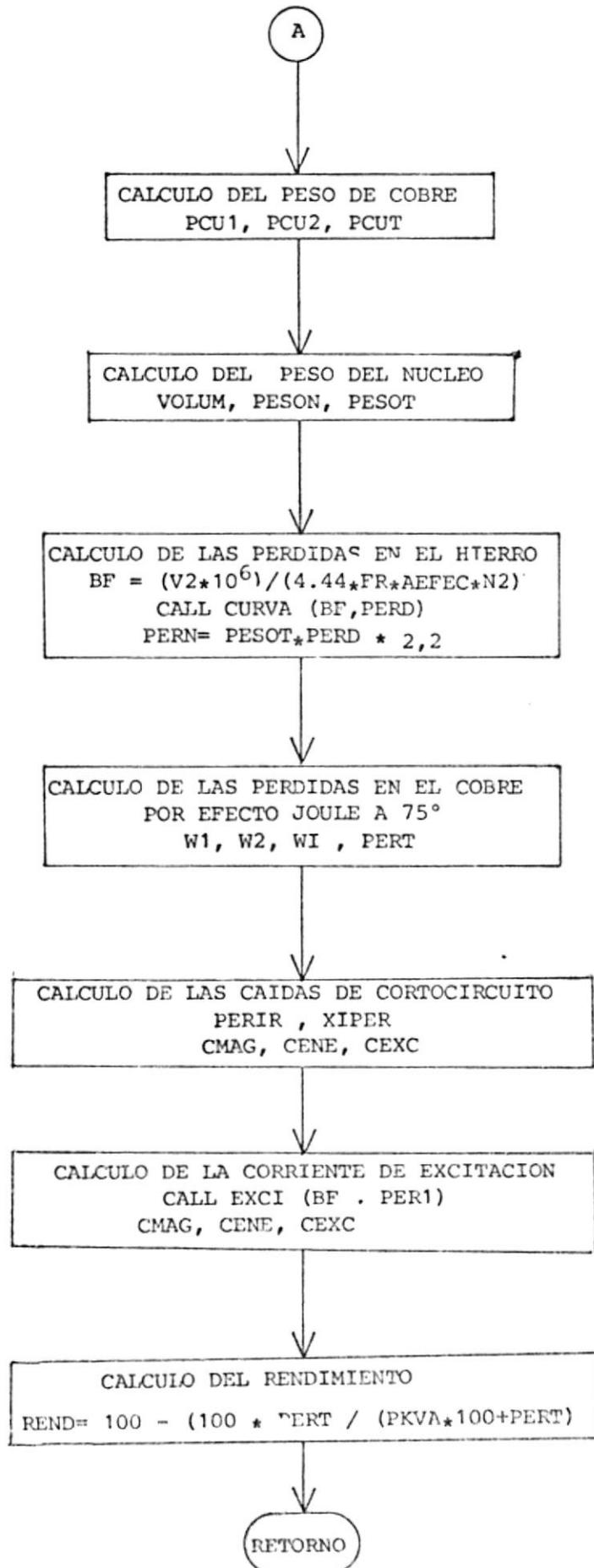
señado. Luego comienza un proceso iterativo entre el programa "DISEÑO 1" y la subrutina TRAF0, variando los valores de KO y FKN entre límites establecidos, dejando momentáneamente fijo el valor inicial de la densidad de flujo. Como resultado de esta iteración el programa determina el transformador que bajo estas condiciones tiene el rendimiento mayor y escribe todos los parámetros del transformador de rendimiento óptimo y una densidad de flujo inicial dada que es levemente reajustada.

Posteriormente, se realiza un proceso similar de obtener otro transformador diseñado pero ahora variando la densidad de flujo. De esta manera, los resultados obtenidos muestran varios transformadores de óptimo rendimiento para una cierta densidad de flujo. La variación de la densidad de flujo se la ha preestablecido entre 1,4 y 1,8 kilogauss, valores éstos acordes con la calidad del material usado para el núcleo.

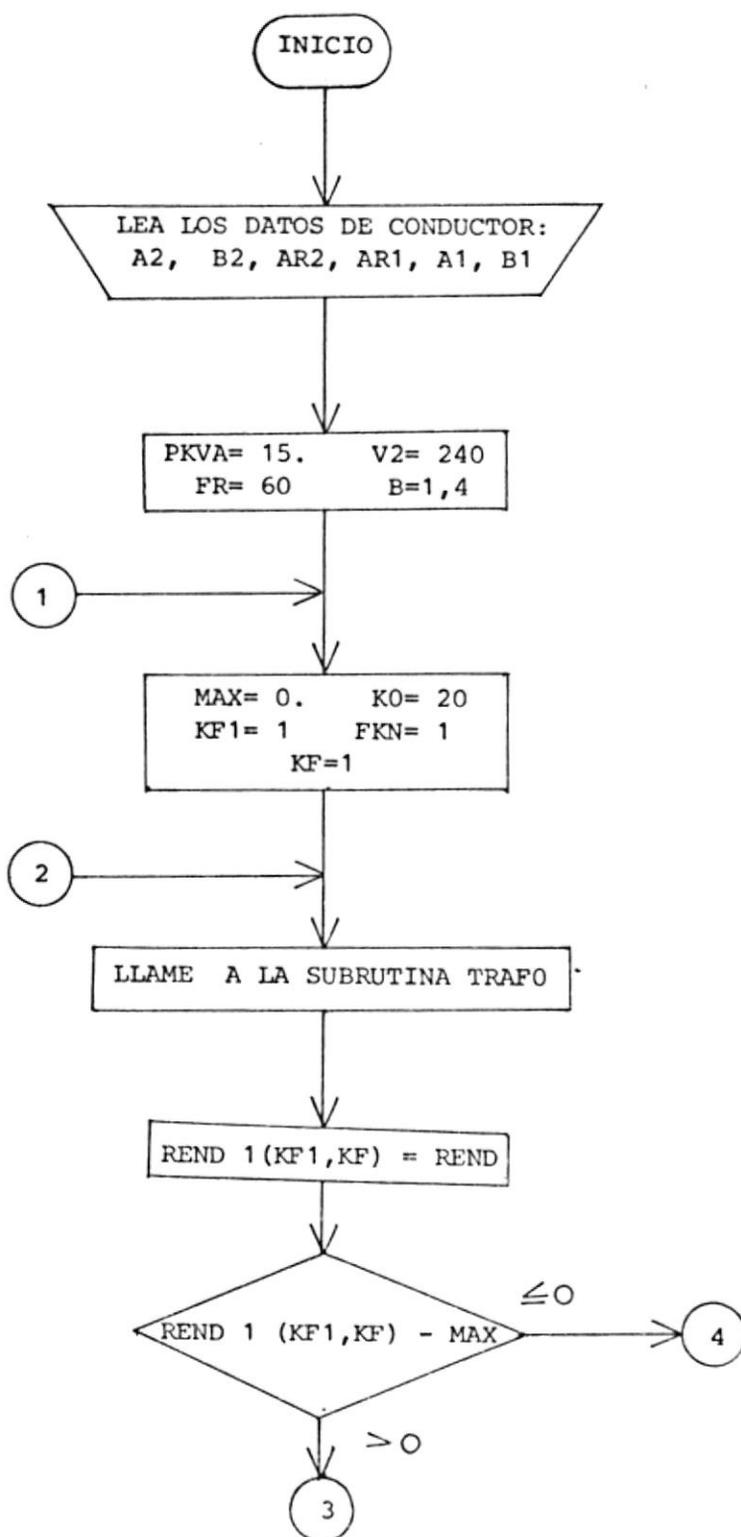
Seguidamente se muestra el diagrama de flujo para el programa "DISEÑO 1" y la redacción del mismo en lenguaje FORTRAN IV.

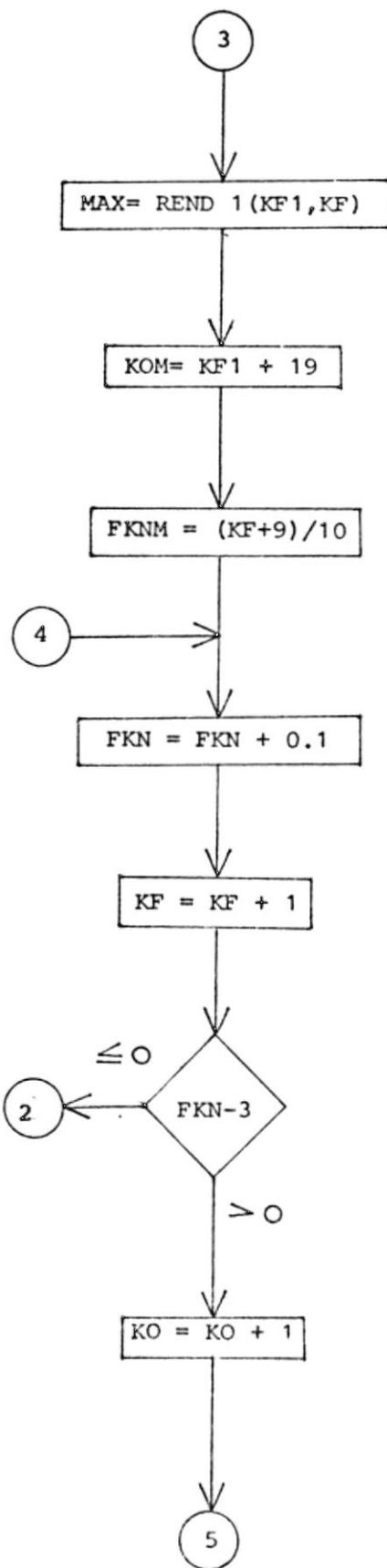
## DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SUBRUTINA TRAF0

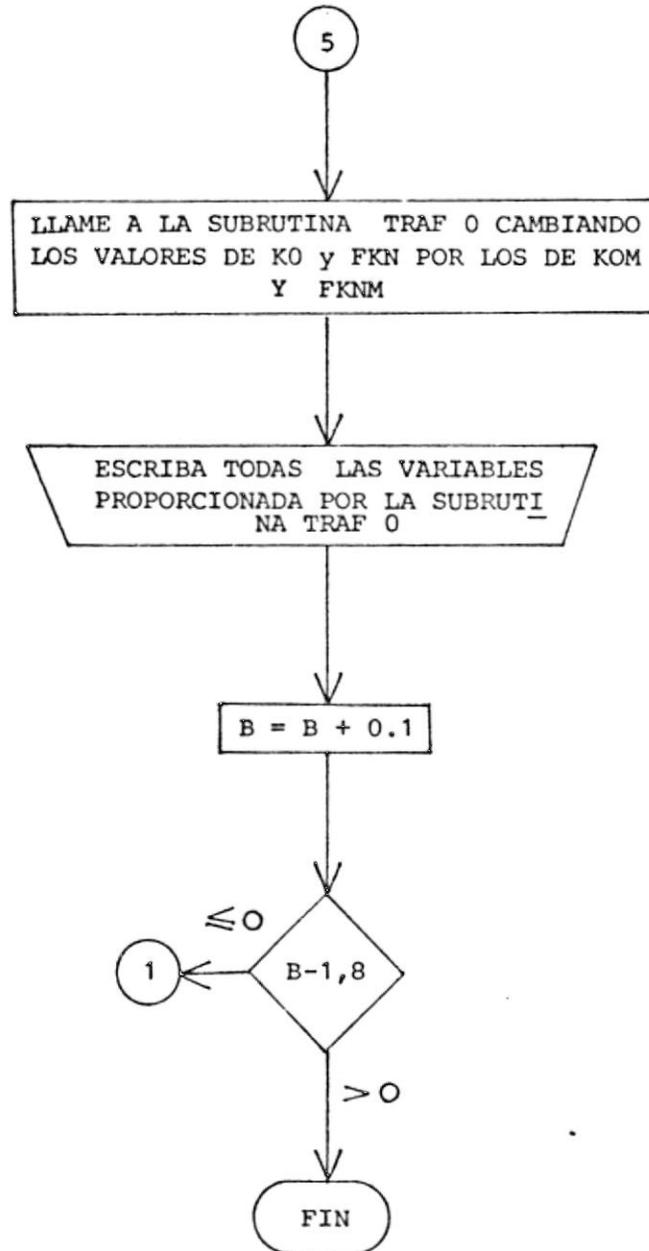




## DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROGRAMA 1







4 \*STANE AS UA CURVA \*\* THIS COMPILATION SAVED SUCCESSFULLY UNLESS A 'U' ERROR FOLLOWS \*\*

5 -CART 10-0006 DB ADDR 4880 DB CNT 0018

7 // FOR

8 \*NO LIST

9 \*SAVE

10 \*EXTENDED\_PRECISION

11

12 -FEATURES SUPPORTED

13 ONE WORD INTEGERS

14 EXTENDED PRECISION

15 -LOAD-6-60

16 -SAVE

17

18 -CORE REQUIREMENTS FOR EXCI

19 COMMON 0, VARIABLES AND TEMPORARIES- 130, CONSTANTS AND PROGRAM- 210

20

21 -RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0093 (HEX)

22 -END OF SUCCESSFUL COMPILATION

23

24

25 \*STORE WS UA EXCI \*\* THIS COMPILATION SAVED SUCCESSFULLY UNLESS A 'U' ERROR FOLLOWS \*\*

26 CART ID 0005 DB ADDR 48CB DB CNT 0018

27 // FOR

28

29 \*SAVE

30 \*EXTENDED\_PRECISION

31

32 C-ERRS...STNO.C..... F O R T R A N S O U R C E S T A T E M E N T S ..... I D E N T I F I C A T I O N \*\*COMPILER MESSAGES\*\*

33

34 SUBROUTINE IRAFO (PKVA, KO, FKs, HFI, N2, HVS, NIP, AVN, NCI, E,

35 INIC, AEFE, PNI, AGEOM, PM2, VOLUM, PESON, PCO1, W1, PCO2, W2, PCO

36 I1, W1, PESO1, PERI, PERI, WND, PERI, XIPER, CL100)

37 COMMON B, A2, A1, B2, B1, AFI, AK2

38 DATA V1, V2, FK, CA3, A15027620, 240, 60, 15.0, 4.7

39 DATA A1511, A1522, A1512, A1521, A.2, 0.3, 4.7, 4.7

40 100 AEFE = KO \* ( SRT ( PKVA ) ) \* 100

41 AGEOM = AEFE / 0.97

42 400 E = SINT ( AGEOM / ( 1.2 \* FK ) )

43 HFI = FK \* E

44 C DIMENSIONADO DE LAS BOBINAS Y ALTURA DE LA VENTANA DEL NUCLEO

45 N2 = ( ( V2 \* 10.E+05 ) / ( 4.44 \* FR \* AEFE \* B ) ) + 1

46 N2C = N2 / 4. + .5

47 N2 = N2C \* 4

48 NIP = N2 \* V1 / V2

49 N1 = ( N2 \* V1 / V2 ) \* 1.05

50 HEB2 = ( H2C + 1 ) \* A2 \* 1.015

51 HVA = HEB2 + ( 2 \* CAB )

52 NIC = ( HVA - 40. ) / ( A1 \* 1.015 ) - 1

1253 NCI = N1 / NIC + 0.5

54 NIC = N1 / NCI + 0.5

1055 NIT = NIC \* NCI

56 HEB1 = ( NIC + 1 ) \* A1 \* 1.015

857 C CALCULO DE LAS DIMENSIONES POR EL COSTADO Y DEL ANCHO DE VENTANA

58

659

60

461

62

263

```

4  LCO1 = ( L * L * C1 * BL ) + ( C1 - 1 ) * AIS11 ) * 1.1
5  AVN = ( AIS2 * 2 ) + ( AIS21 * 2 ) + ( ECO2 * 2 ) + ( ECO1
6  CALCULO DE PERDIDAS EN EL FRENTAL DE LOS BUJOS
7  ( E1 * 1.0 ) + 16.0
8  ESF2 = ECO2 + R.0
9  C CALCULO DEL PERIMETRO MEDIO
10 FOR = 2 * R * A + 2 * R
11 CLETA = HFN + 3.0
12 AIS12 = 4.
13 FO = FOR + 2 * AIS2
14 F21 = FO + 2 * ECO2 + 2 * AIS21
15 F1 = F21 + 2 * ECO1
16 F2 = F1 + 2 * AIS12 + 2 * ECO2
17 CO = ELETA + 2 * AIS2
18 C21 = CO + 2 * ESF2 + 2 * AIS21
19 C1 = C21 + 2 * ESF1
20 C2 = C1 + 2 * AIS12 + 2 * ESF2
21 PVL = F21 + C21 + F1 + C1
22 PV2 = FO + CO + F2 + C2
23 C CALCULO DEL PESO DEL COBRE
24 PCU1 = ( P * L * NIP * ARI * 8.9 ) / ( 10 * E + 05 )
25 PCU2 = ( P * L * R2 * AR2 * 8.9 ) / ( 10 * E + 05 )
26 PCUT = ( PCU1 + PCU2 ) * 1.05
27 C CALCULO DEL PESO DEL NUCLEO
28 VOLUM = E * HEFI * ( 3.14 * E ) + ( 2 * ( HVN + AVN ) )
29 PESON = ( VOLUM * 7.65 ) / ( 10 * E + 05 )
30 PESOT = 2 * PESON
31 C CALCULO DE LAS PERDIDAS EN EL HILERO
32 BF = ( V2 * 10 * E + 05 ) / ( 4.44 * FK * WFLC * W2 )
33 CALL CURVA ( BF, PERD )
34 PERN = PESOT * PERD * 2.2
35 C CALCULO DE LAS PERDIDAS EN EL COBRE POR EFECTO JOULE A 75 GRADOS
36 DENSI = PKVA * 1000 / ( V1 * ARI )
37 DENSI2 = PKVA * 1000 / ( V2 * AR2 )
38 W1 = 2.66 * PCU1 * DENSI * DENSI
39 W2 = 2.66 * PCU2 * DENSI2 * DENSI2
40 WT = W1 + W2
41 PERT = WT + PERL
42 C CAIDAS DE CORTOCIRCUITO
43 PERIR = WT / ( PKVA * 10. )
44 COM1 = ( ECO2 + ESF2 ) / 2. + ( ECO1 + ESF1 ) / 2. + AIS12
45 HEPR = ( HE1 + HE2 ) / 2.
46 CON2 = ( ECO2 + ESF2 ) / 2. + ( ECO1 + ESF1 ) / 2. + AIS12 / 3. + nCPK
47 XIPER = ( 0.756 * FER * IIP * IIP * PKVA * COM1 * PERL ) / ( V1 * V1 * COM2 * 2000 * f
48 C CALCULO DE LA CURVA DE EXCITACION
49 CALL EXCI ( BF, PERI )
50 CMAG = IPER1 * PESOT * 2.2 ) / V2
51 CENE = PERN / V2
52 CEXC = SORT ( ( CMAG ** 2. ) + ( CENE ** 2. ) )
53 F100 = ( CEXC * V2 ) / ( PKVA * 10. )
54 REID = 100. - ( 100. * PERT / ( PKVA * 1000. + PEAF ) )
55 RETURN
56 END

```

```

5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

```

1  VUELTAS SECUNDARIAS      =',I7)
2  WRITE(3,50) MM', NIP
3
4  '50 FORMAT(3X,'ALTURA DE LA VENTANA      =',F10.2,' MM',15X,'NUMERO DE
5  VUELTAS PRIMARIAS      =',I7)
6
7  '460 FORMAT(3X,'ANCHO DE LA VENTANA      =',F10.2,' MM',15X,'NUMERO DE
8  CAPAS PRIMARIAS      =',I7)
9
10 WRITE(3,77) F, NIC
11 '70 FORMAT(3X,'ESPESOR DEL NUCLEO      =',F10.2,' MM',15 , 'NUMERO DE
12 VUELTAS POR CAPA (1) =',I7)
13 WRITE(3,80) AEFFC, PM1
14 '80 FORMAT(3X,'AREA EFECTIVA DEL NUCLEO =',F10.2,' MM2',14X,'PERIMETRO
15 =',F7.2,' MM')
16 WRITE(3,90) AGEOM, PM2
17 '90 FORMAT(3X,'AREA GEOMETRICA      =',F10.2,' MM2',14X,'PERIMETRO
18 =',F7.2,' MM')
19 WRITE(3,11) VOLUX, PFSO
20 '11 FORMAT(3X,'VOLUMEN DEL NUCLEO(1) =',F10.2,' MM3',14X,'PESO DEL
21 NUCLEO UNITARIO      =',F7.2,' KG',77)
22 WRITE(3,12) PCU1, W1
23 '12 FORMAT(3X,'PESO DEL COBRE PRIMARIO =',F10.2,' KG',15X,'PERDIDAS
24 DEL COBRE PRIMARIAS =',F7.2,' W')
25 WRITE(3,13) PCU2, W2
26 '13 FORMAT(3X,'PESO DEL COBRE SECUNDARIO =',F10.2,' KG',15X,'PERDIDAS
27 DEL COBRE SECUNDARIAS =',F7.2,' W')
28 WRITE(3,14) PCUT, WT
29 '14 FORMAT(3X,'PESO DEL COBRE TOTAL =',F10.2,' KG',15X,'PERDIDAS
30 DEL COBRE TOTALES =',F7.2,' W')
31 WRITE(3,15) PESOT, PERH
32 '15 FORMAT(3X,'PESO TOTAL DEL NUCLEO =',F10.2,' KG',15X,'PERDIDAS
33 TOTALES DEL NUCLEO =',F7.2,' W',77)
34 WRITE ( 3, 301 )
35 '301 FORMAT(3,'CAIDAS DE CORTOCIRCUITO' )
36 WRITE( 3, 302 ) PERIR
37 '302 FORMAT(3X,'RESISTIVA =', F5.2, ' 070 ' )
38 WRITE(3,303) XIPER
39 '303 FORMAT(3X,'REACTIVA =', F5.2, ' 070 ' )
40 WRITE(3,304) CFI00
41 '304 FORMAT(3X,'CORRIENTE DE EXCITACION =',F6.2, ' 070 ' )
42 WRITE ( 3,16 ) PERT
43 '16 FORMAT(40X,'PERDIDAS TOTALES =',F7.2,' W')
44 WRITE(5,17) REND
45 '17 FORMAT(40X,'RENDIMIENTO =',F7.2,'77)
46 R = R + 1./10.
47 IF ( R - 1.8 ) 55, 55, 56
48 '56 CONTINUE
49 CALL EXIT
50 END

```

FEATURES SUPPORTED  
 ONE WORD INTEGERS  
 EXTENDED PRECISION  
 LOAD 6 GO  
 ICCS-  
 1132 PRINTER  
 461  
 203

#### 4.3 DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION A PARTIR DE UN NUCLEO Y UN CONDUCTOR DADO.

En este programa que de aquí en adelante llamaremos programa B es una alternativa que se puede presentar en el diseño, ya que normalmente se podría importar el núcleo de los transformadores y realizarse en el país el resto de la obra.

Presentado el diseño de esta manera, la variación de este artículo con el 4.2 sería que de antemano tenemos los datos que el programa A, desarrolla en su parte a del citado artículo. Además, las subrutinas CURVA y EXCI no sufrirán ninguna variación en su contenido y no necesitan ningún comentario adicional.

##### 4.3.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA B.

El programa B se divide entonces en:

- a) SUBRUTINAS CURVA Y EXCI
- b) SUBRUTINA TRAFI
- c) PROGRAMA "DISEÑO 2"

##### 4.3.1.1 SUBRUTINA TRAFI

Para el programa B constituye la parte

más importante del diseño. Realiza la determinación de bobinados, pérdidas, caídas de cortocircuito, corriente de excitación y rendimiento. Como datos de entrada necesita el valor de la capacidad del transformador a ser diseñado y el de la densidad de flujo usada en cada caso. Adicional a estos datos, se establecen datos comunes con el programa principal "DISEÑO 2", que son los datos del conductor y las dimensiones físicas del núcleo a usarse. Internamente, además se encuentran por medio de una proposición DATA los valores de los voltajes de alta y baja tensión, la frecuencia; y, los diferentes valores de aislamiento utilizados para el diseño.

La secuencia para determinar los diferentes parámetros a obtenerse es casi similar a la usada por la subrutina TRAF0. Las variaciones introducidas las presentamos a continuación.

#### 4.3.1.1.1 DIMENSIONADO DE LAS BOBINAS

Para esto se determina directamente el área geométrica y efectiva del núcleo.

$$\text{AGEOM} = 2 \times E \times \text{HFN} \quad \text{mm}^2$$

$$\text{AEFEC} = \text{AGEOM} * 0.97 \quad \text{mm}^2$$

Luego se determina el número de vueltas del devanado de baja tensión:

$$N2 = \frac{V2 * 10^6}{4,44 \times \text{FR} * \text{AEFEC} * B} + 1$$

Hecho esto se determina el número de vueltas por capa del lado de baja tensión.

Seguidamente se calcula la altura eléctrica de la bobina de baja tensión por medio de:

$$\text{HEB2} = (N2C+1) * A2 * 1,015$$

donde:

HEB2 = altura eléctrica del devanado de baja tensión.

N2C = número de vueltas por capa del devanado de baja tensión.

A2 = dimensión del conductor usado en milímetros.

Se considera además un factor de apilamiento igual a 1,015.

Inmediatamente se efectúa una comparación entre la altura de la ventana del núcleo y la altura eléctrica de la bobina de baja tensión; considerando que si la diferencia entre ellas es mayor o igual a 15 mm, se considera que es apropiado lo hasta aquí calculado, de otra forma se toman como resultados de todo los parámetros que se calcula en esta subrutina un valor de cero.

Pasada esta primera comparación se calcula los valores del bobinado de alta tensión.

Luego se determina el ancho total que van a ocupar las bobinas y los aislamientos en la ventana del núcleo. Si este ancho es menor o igual que el ancho de la ventana del núcleo (AVN) se continúa el cálculo, de no ser así, todos los parámetros toman un valor de cero.

El cálculo que continúa es -  
exactamente igual al explicad  
do en los artículos 4.2.1.2.2;  
4.2.1.2.3; y, 4.2.1.2.4. •

#### 4.3.1.2 PROGRAMA "DISEÑO 2"

Se llama así al programa principal de -  
B. Se inicializa tomando como datos -  
los valores introducidos por el diseñador: capacidad del transformador, dimens  
iones físicas del núcleo, valores de -  
los conductores usados, tanto para baja  
como para alta tensión.

Internamente el programa inicializa el  
valor de la densidad de flujo (1,4 kilo  
gramos) con lo que ya está listo, para  
llamar a la subrutina TRAF1, para el -  
cálculo de todos los parámetros requerid  
dos.

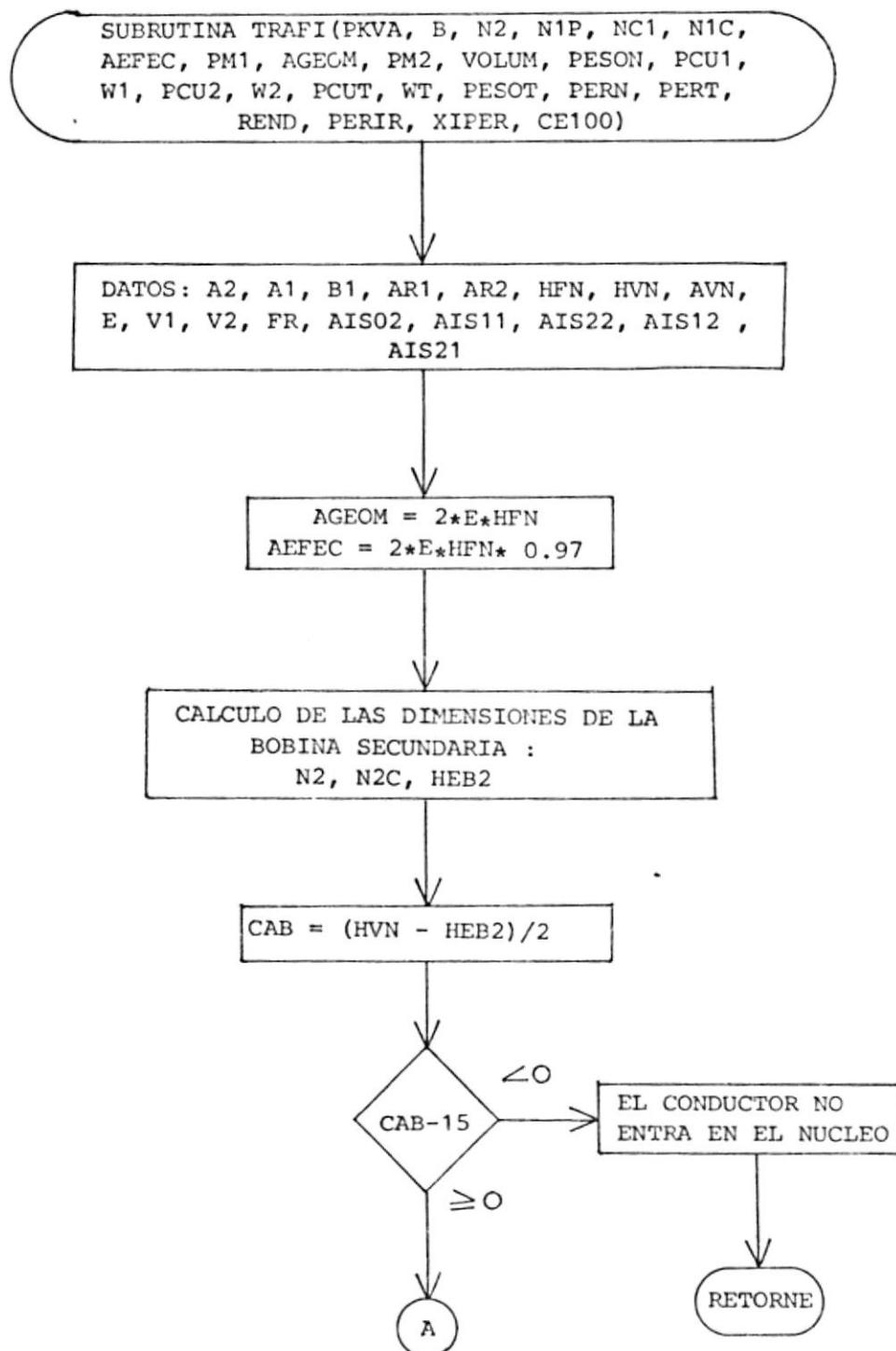
Inmediatamente se realiza la escritura  
de todos los valores determinados para  
la densidad de flujo inicial. Luego se  
repite el proceso considerando un aument  
to de la densidad de flujo en 0.1 kilo-  
gauss.

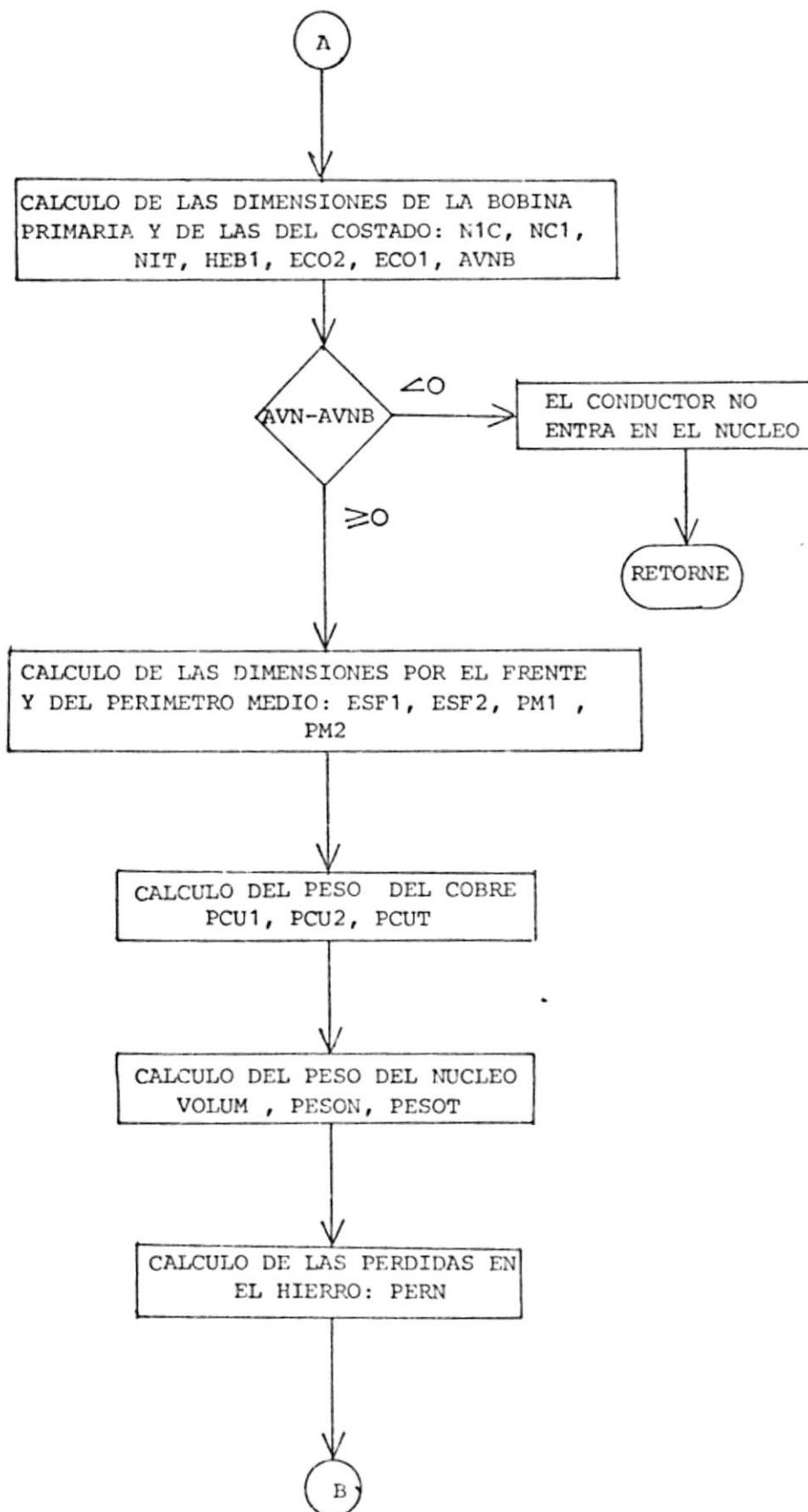
En consecuencia se tienen como resultados los diferentes parámetros, cálculos a una cierta densidad de flujo y con un núcleo determinado.

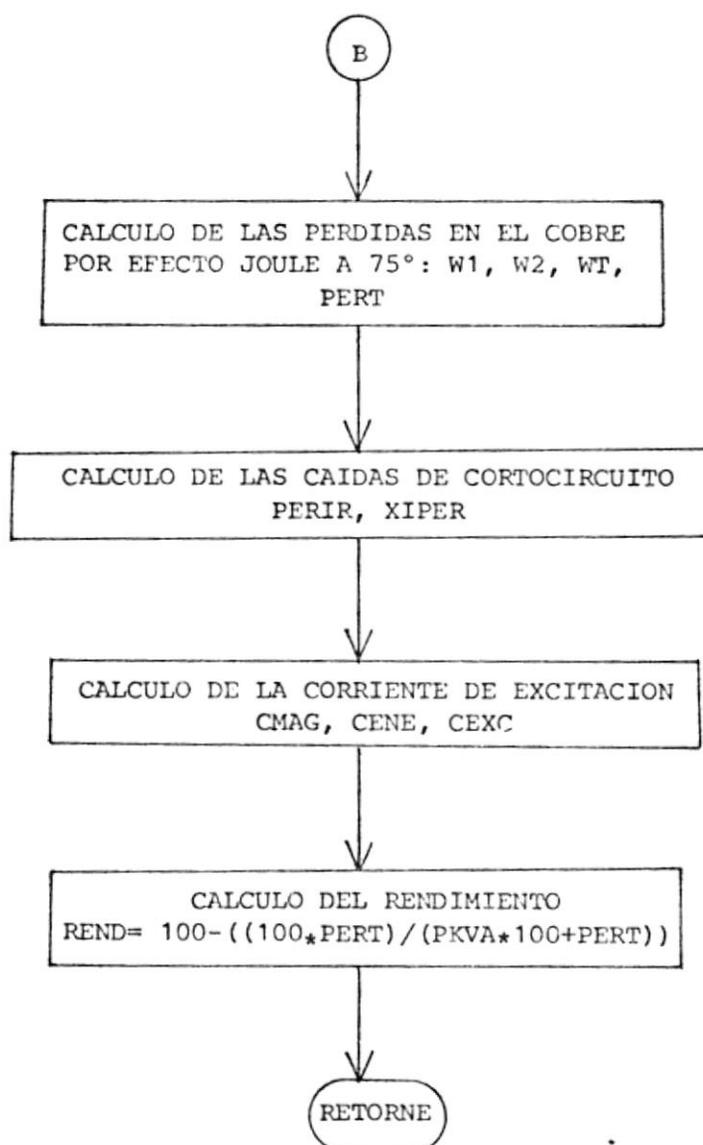
El valor final de la densidad se lo establece en 1,8 kilogramos, considerando que el núcleo entra en su característica saturada.

Seguidamente se muestran los diagramas de flujo para la subrutina TRAF1 y el programa "DISEÑO 2" y la redacción de los mismos en lenguaje FORTRAN IV.

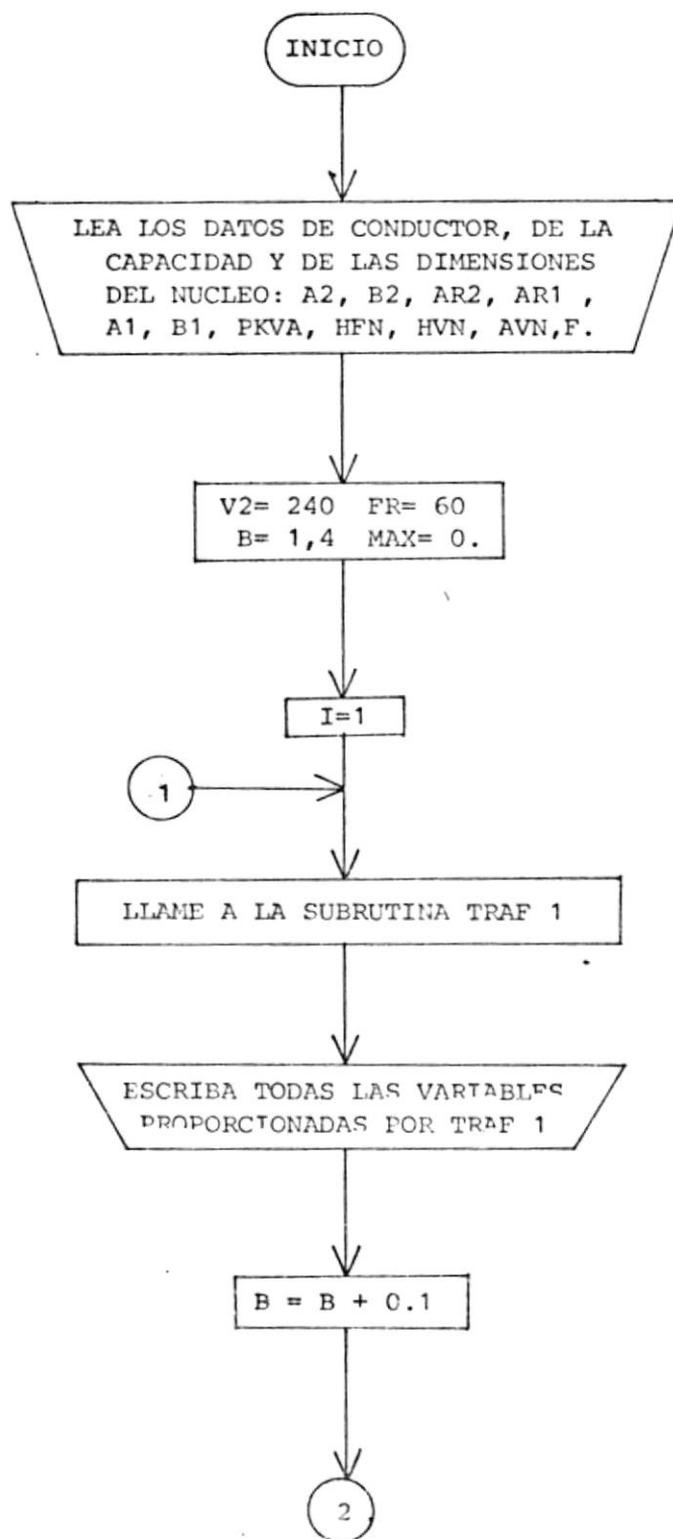
## DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SUBROUTINA TRAF1

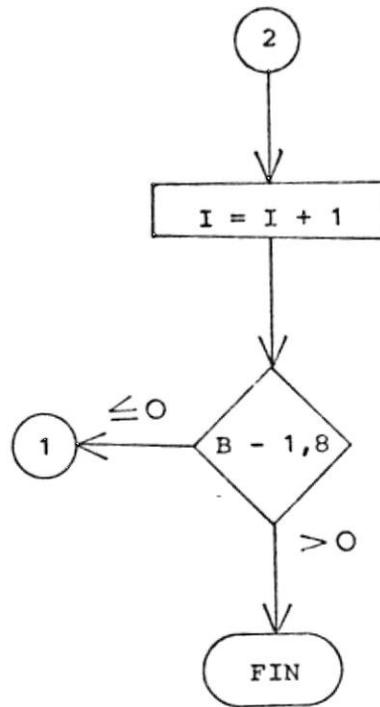






## DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROGRAMA 2





5 END OF SUCCESSFUL COMPILATION

7 \*STORE W5 UA CURVA \*\* THIS COMPILATION SAVED SUCCESSFULLY UNLESS A 'D' ERROR FOLLOWS \*\*  
8 CART ID 0006 LB ADDR 4880 DB CNT 0018

11 // FOR  
12 \*NO LIST  
13 \*SAVE  
14 \*EXTENDED PRECISION

15 FEATURES SUPPORTED  
16 ONE WORD INTEGERS  
17 EXTENDED PRECISION  
18 LOAD & GO  
19 SAVE

21 CORE REQUIREMENTS FOR - EXCI  
22 COMMON- 0, VARIABLES AND TEMPORARIES- 130, CONSTANTS AND PROGRAM- 218

24 RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0093 (HEX)

25 END OF SUCCESSFUL COMPILATION

28 \*STORE W5 UA EXCI \*\* THIS COMPILATION SAVED SUCCESSFULLY UNLESS A 'D' ERROR FOLLOWS \*\*  
29 CART ID 0006 LB ADDR 48CB DB CNT 0018

31 // FOR  
32 \*SAVE  
33 \*EXTENDED PRECISION

34 C-ERRS...STND.C..... F O R T R A N S O U R C E S T A T E M E N T S ..... I D E N T I F I C A T I O N \*\*COMPILER MESSAGES\*\*

37 SUBROUTINE TRAF1 ( PKVA, B, N2, NIP, NIC, AEFEC, PMI, AGEOM,  
38 IPK2, VOLUM, PESON, PCU1, W1, PCU2, W2, PCUT, WT, PESOT, PLRN,PERT,  
39 ZREND, PLRIR, XIPLR, CE100 )

40 COMMON A2, A1, B2, B1, AR1, AR2, HFN, HVN, AVN, E

41 DATA V1, V2, FR, AIS21/ 7620., 240., 60., 4./

42 DATA AIS11, AIS22, AIS12, AIS21/ 0.2, 0.3, 4., 4./

43 AGEOM = 2. \* E \* HFN

44 AEFEC = 2. \* E \* HFN \* 0.97

45 C DIMENSIONADO DE LAS BOBINAS

46 N2 = ( ( V2 \* 10.E+05 ) / ( 4.44 \* FR \* AEFEC \* B ) ) + 1

47 N2C = N2 / 4. + .5

48 N2 = N2C \* 4

49 NIP = N2 \* V1 / V2

50 N1 = ( N2 \* V1 / V2 ) \* 1.05

51 HEB2 = ( N2C + 1 ) \* A2 \* 1.015

52 CAB = ( HVN - HEB2 ) / 2.

53 IF ( CAB - 15. ) 903, 901, 901

54 901 NIC = ( HEB2 - 5. ) / ( A1 \* 1.015 ) - 1

55 NCI = N1 / NIC + 0.5

56 NIC = N1 / NCI + 0.5

57 NIT = NIC \* NCI

58 HEB1 = ( NIC + 1 ) \* A1 \* 1.015

59 C CALCULO DE LAS DIMENSIONES POR EL COSTADO

60 ECO2 = ( 2 \* B2 + AIS22 ) \* 1.1



```

904 REFD = 0.
PFI = 0.
PFI2 = 0.
VOLU = 0.
PESU = 0.
PCU1 = 0.
W1 = 0.
PCU2 = 0.
WT = 0.
PESOT = 0.
PERN = 0.
PERT = 0.
PERIR = 0.
XIPER = 0.
CE100 = 0.
905 CONTINUE
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS  
EXTENDED PRECISION  
LOAD 5, GO  
SAVE

CODE REQUIREMENTS FOR - TRAFI  
COMMON- 30, VARIABLES AND TEMPORARIES- 124, CONSTANTS AND PROGRAM- 1004  
RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 00CB (HEX)

END OF SUCCESSFUL COMPILATION

\*STORE WS UA TRAFI \*\* THIS COMPILATION SAVED SUCCESSFULLY UNLESS A 'U' ERROR FOLLOWS \*\*  
CARD ID 0006 DB ADDR 48E6 DB CNT 0051

// FOR \*EXTENDED PRECISION

C-ERRS...SINO.C..... FORTMAN SOURCE STATEMENTS ..... IDENTFCN \*\*COMPILER MESSAGE\*\*

```

DIMENSION REND1 ( 20 )
COMMON A2, A1, B2, B1, AR1, AR2, HRN, HVN, AVN, L
C DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION CONOCIENDO EL NUCLEO
C
PROGRAMA 2
READ ( 2, 91 ) A2, B2, AR2, AR1, A1, B1
81 FORMAT ( 4F10.3, 2F10.3 )
READ ( 2, 82 ) PKVA, HRN, HVN, AVN, L
82 FORMAT ( F5.1, 4F10.1 )
V2 = 243.
FR = 60.
B = 1.4
MAX = 0.
I = 1

```

55 CALL TRAFI PKVA, B, A2, NIP, NCI, NIC, ALFEC, PERI, ASECUM, PM2, VOLU  
I, PESUM, PCU1, A1, PCU2, A2, PCUT, B1, PESOT, PERK, PERI, READ, PE



```

304 FORMAT(3X,'CORRIENTE DE EXCITACION =',F6.2,' 370 ')
WRITE (3,16 ) PERT
16 FORMAT(40X,'PERDIDAS TOTALES =',F7.2,' W')
WRITE(3,17) REND
17 FORMAT(40X,'RENDIMIENTO =',F7.2,'%')

```

```

B = B + 1./10.
I = I + 1
IF ( B - 1.8 ) 55, 55, 56
56 CONTINUE
CALL EXIT
END

```

FEATURES SUPPORTED  
746 WORD INTEGERS.  
EXTENDED PRECISION  
LOAD & GO  
192 PRINTER  
PUSH  
CARD

CORE REQUIREMENTS FOR -  
COMP- 30, VARIABLES AND TEMPORARIES- 146, CONSTANTS AND PROGRAM- 1030

END OF SUCCESSFUL COMPILATION

// XED \*\* COMMENCE PROGRAM EXECUTION \*\*

#### 4.4 EJEMPLOS

Como una tentativa de la validez de los programas se presenta a continuación un diseño de un transformador de distribución de 15KVA, considerando en primer lugar que los únicos datos con los que contamos sean las características del material del núcleo y conductores para los devanados. De esta manera, el programa a utilizarse sería el programa A. Luego realizaremos el mismo diseño pero ahora teniendo como un dato adicional las dimensiones físicas del núcleo empleado.

Consecuentemente el programa a utilizarse en este caso sería de programa B.

##### 4.4.1 RESULTADOS PARA EL PROGRAMA A.

Para este caso los conductores a usarse son los siguientes:

Baja tensión : 8,25 x 3,26 mm.

Alta tensión : 0,983 x 0,983 mm.

Utilizando el programa A los resultados del diseño, se presentan a continuación:

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

NECESIDAD DE FLUJO = 1.38 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KO=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKN= 2.3

ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 117.36 MM      NÚMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 20  
ALTURA DE LA VENTANA = 155.60 MM      NÚMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1776  
ANCHO DE LA VENTANA = 51.60 MM      NÚMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 16  
ESPESOR DEL NUCLEO = 51.02 MM      NÚMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 116  
ÁREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 11618.95 MM<sup>2</sup>      PERÍMETRO MEDIO PRIMARIO = 721.27 mm  
ÁREA GEOMÉTRICA = 11978.22 MM<sup>2</sup>      PERÍMETRO MEDIO SECUNDARIO = 721.27 mm  
VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 3441607.22 MM<sup>3</sup>      PESO DEL NUCLEO UNITARIO = 46.92 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 7.45 KG      PÉRDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 100.10 W  
PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 9.48 KG      PÉRDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 171.62 W  
PESO DEL COBRE TOTAL = 17.78 KG      PÉRDIDAS DEL COBRE TOTALES = 341.78 W  
PESO TOTAL DEL NUCLEO = 52.65 KG      PÉRDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 49.64 W

CAIDAS DE CORTECIRCUITO

REACTIVA = 2.14 O/O

REACTIVA = 1.70 O/O

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.52 O/O

PÉRDIDAS TOTALES = 371.42 W

RENDIMIENTO = 97.58

ESCUOLA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

UTILIZACION DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.42 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KO=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKN= 2.4

25	ALTURA FISICA DEL NUCLEO =	119.89 MM	NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS =	92
26	ALTURA DE LA VENTANA =	147.23 MM	NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS =	1051
27	ANCHO DE LA VENTANA =	51.60 MM	NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS =	16
28	ESPESOR DEL NUCLEO =	49.95 MM	NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) =	100
29	AREA EFECTIVA DEL NUCLEO =	11618.95 MM2	PERIMETRO MEDIO PRIMARIO =	722802 MM
30	AREA GEOMETRICA =	11978.29 MM2	PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO =	722802 MM
31	VOLUMEN DEL NUCLEO(1) =	3321178.49 MM3	PESO DEL NUCLEO UNITARIO =	49440 KG

34	PESO DEL COBRE PRIMARIO =	6.92 KG	PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS =	107.46 W
35	PESO DEL COBRE SECUNDARIO =	8.61 KG	PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS =	131.04 W
36	PESO DEL COBRE TOTAL =	16.52 KG	PERDIDAS DEL COBRE TOTALES =	299.10 W
37	PESO TOTAL DEL NUCLEO =	50.81 KG	PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO =	57.32 W

CAIDAS DE CORTECIRCUITO

RESISTIVA = 1.99 O/O

REACTIVA = 1.56 O/O

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.61 O/O

PERDIDAS TOTALES = 356.43 W

RENDIMIENTO = 97.67

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.61 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KO=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKN= 2.5

ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 122.36 MM  
 ALTURA DE LA VENTANA = 136.89 MM  
 ANCHO DE LA VENTANA = 51.60 MM  
 ESPESOR DEL NUCLEO = 48.94 MM  
 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 11618.92 MM<sup>2</sup>  
 AREA GEOMETRICA = 11978.29 MM<sup>2</sup>  
 VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 3201894.56 MM<sup>3</sup>  
 NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 48  
 NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1224  
 NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 16  
 NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 400  
 PERIMETRO MEDIO PRIMARIO = 722.92 MM  
 PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO = 722.92 MM  
 PESO DEL NUCLEO UNITARIO = 24.49 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 6.40 KG  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 8.14 KG  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 15.27 KG  
 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 48.98 KG  
 PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 124.77 W  
 PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 121.00 W  
 PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 276.44 W  
 PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 68.65 W

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 1.84 O/O

REACTIVA = 1.42 O/O

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.80 U/O

PERDIDAS TOTALES = 345.09 W

RENDIMIENTO = 97.75

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.61 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO  $K_0=30$

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR  $FKN=2.5$

ALTEZA FISICA DEL NUCLEO =	122.36 MM	NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS =	40
ALTEZA DE LA VENTANA =	136.85 MM	NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS =	1524
ANCHO DE LA VENTANA =	51.60 MM	NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS =	10
ESPESOR DEL NUCLEO =	48.94 MM	NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) =	100
AREA EFECTIVA DEL NUCLEO =	11618.95 MM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO PRIMARIO =	122.92 mm
AREA GEOMETRICA =	11979.22 MM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO =	722.92 mm
VOLUMEN DEL NUCLEO(1) =	3201894.56 MM <sup>3</sup>	PESO DEL NUCLEO UNITARIO =	24.49 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO =	6.40 KG	PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS =	194.77 W
PESO DEL COBRE SECUNDARIO =	8.14 KG	PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS =	121.00 W
PESO DEL COBRE TOTAL =	15.27 KG	PERDIDAS DEL COBRE TOTALES =	276.44 W
PESO TOTAL DEL NUCLEO =	48.98 KG	PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO =	68.65 W

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 1.84 0/0

REACTIVA = 1.42 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.80 0/0

PERDIDAS TOTALES = 345.09 W

RENDIMIENTO = 97.75

LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

RELACION DE FLUJO = 1.76 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KO=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKN= 2.8

ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 129.49 MM  
 ALTURA DE LA VENTANA = 130.48 MM  
 ANCHO DE LA VENTANA = 51.60 MM  
 ESPESOR DEL NUCLEO = 46.24 MM  
 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 11618.95 MM<sup>2</sup>  
 AREA GEOMETRICA = 11978.29 MM<sup>2</sup>  
 VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 3050893.93 MM<sup>3</sup>  
 NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 44  
 NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1597  
 NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 16  
 NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 91  
 PERIMETRO MEDIO PRIMARIO = 720.41 MM  
 PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO = 720.71 MM  
 PESO DEL NUCLEO UNITARIO = 23.33 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 5.89 KG  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 7.50 KG  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 14.07 KG  
 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 46.67 KG  
 PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 142.56 W  
 PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 112.06 W  
 PERDIDAS DEL COBRE TOTALS = 294.63 W  
 PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 86.02 W

CAIDAS DE CONTACTO CIRCUITO

RESISTIVA = 1.62 OHO

REACTIVA = 1.30 OHO

CORRIENTE DE EXCITACION = 1.44 OHO

PERDIDAS TOTALES = 341.25 W

RENDIMIENTO = 97.77

#### 4.4.2 RESULTADOS PARA EL PROGRAMA B

Para poder establecer en el próximo artículo la comparación de los resultados al utilizar ambos programas, se utiliza como datos del programa B los mismos conductores usados en el programa A y los datos del núcleo fueron proporcionados por la fábrica de transformadores INATRA.

Los resultados del diseño, utilizando el programa B, son los siguientes:

DENSIDAD DE FLUJO = 1.42 KILOGAUSS

ALTURA FÍSICA DEL NÚCLEO = 135.00 MM

ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM

ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM

ESPESOR DEL NÚCLEO = 40.00 MM

ÁREA EFECTIVA DEL NÚCLEO = 10553.60 MM<sup>2</sup>

ÁREA GEOMÉTRICA = 10828.00 MM<sup>2</sup>

COLUMEN DEL NÚCLEO(I) = 0.01 RM3

NÚMERO DE VOLTIOS SECUNDARIAS	=	50
NÚMERO DE VOLTIOS PRIMARIAS	=	1200
NÚMERO DE CAPAS PRIMARIAS	=	0
NÚMERO DE VOLTIOS POR CAPA (I)	=	0
PERÍMETRO MEDIO PRIMARIO	=	0.00 CM
PERÍMETRO MEDIO SECUNDARIO	=	0.00 CM
PESO DEL NÚCLEO (I)	=	0.00 KG
PESO DEL COBRE PRIMARIO	=	0.00 KG
PESO DEL COBRE SECUNDARIO	=	0.00 KG
PESO DEL COBRE TOTAL	=	0.00 KG
PESO TOTAL DEL NÚCLEO	=	0.00 KG
PÉRDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS	=	0.00 W
PÉRDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS	=	0.00 W
PÉRDIDAS DEL COBRE TOTAL	=	0.00 W
PÉRDIDAS TOTALS DEL NÚCLEO	=	0.00 W

CAIDAS DE CONDUCTORIO

RESISTIVA = 0.00 0/0

REACTIVA = 0.00 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.00 0/0

PÉRDIDAS TOTALES = 0.00 W

RENDIMIENTO = 0.00 %

ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

UTILIZACION DEL PROGRAMA B

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.52 KILOGAUSS  
 ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 136.00 MM  
 ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM  
 ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM  
 ESPESOR DEL NUCLEO = 40.00 MM  
 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 10553.60 MM2  
 AREA GEOMETRICA = 10880.00 MM2  
 VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 0.00 MM3

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 0.00 KG  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 0.00 KG  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 0.00 KG  
 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 0.00 KG

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 0.00 O/O  
 REACTIVA = 0.00 O/O

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.00 O/O

PERDIDAS TOTALES = 0.00 W  
 RENDIMIENTO = 0.00

NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 20  
 NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 176  
 NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 0  
 NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 0  
 PERIMETRO MEDIO PRIMARIO = 0.00 MM  
 PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO = 0.00 MM  
 PESO DEL NUCLEO UNITARIO = 0.00 KG

PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 0.00 W  
 PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 0.00 W  
 PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 0.00 W  
 PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 0.00 W

ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

UTILIZACION DEL PROGRAMA - B

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 15.0 KVA

DIMENSION DE FLUJO = 1.52 KILOGAUS  
 ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 136.00 MM      NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 20  
 ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM      NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1770  
 ARCO DE LA VENTANA = 70.00 MM      NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 0  
 ESPESOR DEL NUCLEO = 40.00 MM      NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 0  
 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 10553.60 MM<sup>2</sup>      PERIMETRO DEL NUCLEO PRIMARIO = 0.00 MM  
 AREA GEOMETRICA = 10880.00 MM<sup>2</sup>      PERIMETRO MEDIO DEL NUCLEO = 0.00 MM  
 VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 0.00 MM<sup>3</sup>      PESO DEL NUCLEO VILLARIO = 0.00 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 0.00 W  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 0.00 W  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE TOTAL = 0.00 W  
 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 0.00 KG      PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 0.00 W

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 0.00 0/0

REACTIVA = 0.00 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.00 0/0

PERDIDAS TOTALES = 0.00 W

RENDIMIENTO = 0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

UTILIZACION DEL PROGRAMA B

TIPO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.64 KILOGAUSS  
 ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 136.00 MM      NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 24  
 ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM      NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1021  
 ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM      NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 15  
 ESPESOR DEL NUCLEO = 40.00 MM      NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 112  
 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 10553.60 MM2      PERIMETRO MEDIO PRIMARIO = 709.41 MM  
 AREA GEOMETRICA = 10890.00 MM2      PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO = 709.41 MM  
 VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 3131264.00 MM3      PESO DEL NUCLEO VITANIO = 25.75 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 6.50 KG      PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 164.49 W  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 8.65 KG      PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 129.30 W  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 16.23 KG      PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 293.80 W  
 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 47.90 KG      PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 70.36 W

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 1.95 0/0  
 REACTIVA = 1.46 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.84 0/0

PERDIDAS TOTALES = 364.17 W  
 RENDIMIENTO = 97.62

ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

UTILIZACION DEL PROGRAMA B

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 15.0 KVA

21 DENSIDAD DE FLUJO = 1.77 KILOGAUSS  
 22 ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 135.00 MM  
 23 ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM  
 24 ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM  
 25 ESPESOR DEL NUCLEO = 40.00 MM  
 26 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 10553.60 MM<sup>2</sup>  
 27 AREA GEOMETRICA = 10880.00 MM<sup>2</sup>  
 28 VOLUMEN DEL NUCLEO (1) = 3131264.00 MM<sup>3</sup>  
 29  
 30  
 31 PESO DEL COBRE PRIMARIO = 6.28 KG  
 32 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 7.99 KG  
 33 PESO DEL COBRE TOTAL = 14.93 KG  
 34 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 47.90 KG  
 35  
 36  
 37 CALIAS DE CORTOCIRCUITO  
 38 RESISTIVA = 1.85 O/O  
 39 REACTIVA = 1.33 O/O  
 40 CORRIENTE DE EXCITACION = 1.52 O/O  
 41 PERDIDAS TOTALES = 363.19 W  
 42 RENDIMIENTO = 97.52  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100  
 101  
 102  
 103  
 104  
 105  
 106  
 107  
 108  
 109  
 110  
 111  
 112  
 113  
 114  
 115  
 116  
 117  
 118  
 119  
 120  
 121  
 122  
 123  
 124  
 125  
 126  
 127  
 128  
 129  
 130  
 131  
 132  
 133  
 134  
 135  
 136  
 137  
 138  
 139  
 140  
 141  
 142  
 143  
 144  
 145  
 146  
 147  
 148  
 149  
 150  
 151  
 152  
 153  
 154  
 155  
 156  
 157  
 158  
 159  
 160  
 161  
 162  
 163  
 164  
 165  
 166  
 167  
 168  
 169  
 170  
 171  
 172  
 173  
 174  
 175  
 176  
 177  
 178  
 179  
 180  
 181  
 182  
 183  
 184  
 185  
 186  
 187  
 188  
 189  
 190  
 191  
 192  
 193  
 194  
 195  
 196  
 197  
 198  
 199  
 200  
 201  
 202  
 203  
 204  
 205  
 206  
 207  
 208  
 209  
 210  
 211  
 212  
 213  
 214  
 215  
 216  
 217  
 218  
 219  
 220  
 221  
 222  
 223  
 224  
 225  
 226  
 227  
 228  
 229  
 230  
 231  
 232  
 233  
 234  
 235  
 236  
 237  
 238  
 239  
 240  
 241  
 242  
 243  
 244  
 245  
 246  
 247  
 248  
 249  
 250  
 251  
 252  
 253  
 254  
 255  
 256  
 257  
 258  
 259  
 260  
 261  
 262  
 263  
 264  
 265  
 266  
 267  
 268  
 269  
 270  
 271  
 272  
 273  
 274  
 275  
 276  
 277  
 278  
 279  
 280  
 281  
 282  
 283  
 284  
 285  
 286  
 287  
 288  
 289  
 290  
 291  
 292  
 293  
 294  
 295  
 296  
 297  
 298  
 299  
 300  
 301  
 302  
 303  
 304  
 305  
 306  
 307  
 308  
 309  
 310  
 311  
 312  
 313  
 314  
 315  
 316  
 317  
 318  
 319  
 320  
 321  
 322  
 323  
 324  
 325  
 326  
 327  
 328  
 329  
 330  
 331  
 332  
 333  
 334  
 335  
 336  
 337  
 338  
 339  
 340  
 341  
 342  
 343  
 344  
 345  
 346  
 347  
 348  
 349  
 350  
 351  
 352  
 353  
 354  
 355  
 356  
 357  
 358  
 359  
 360  
 361  
 362  
 363  
 364  
 365  
 366  
 367  
 368  
 369  
 370  
 371  
 372  
 373  
 374  
 375  
 376  
 377  
 378  
 379  
 380  
 381  
 382  
 383  
 384  
 385  
 386  
 387  
 388  
 389  
 390  
 391  
 392  
 393  
 394  
 395  
 396  
 397  
 398  
 399  
 400  
 401  
 402  
 403  
 404  
 405  
 406  
 407  
 408  
 409  
 410  
 411  
 412  
 413  
 414  
 415  
 416  
 417  
 418  
 419  
 420  
 421  
 422  
 423  
 424  
 425  
 426  
 427  
 428  
 429  
 430  
 431  
 432  
 433  
 434  
 435  
 436  
 437  
 438  
 439  
 440  
 441  
 442  
 443  
 444  
 445  
 446  
 447  
 448  
 449  
 450  
 451  
 452  
 453  
 454  
 455  
 456  
 457  
 458  
 459  
 460  
 461  
 462  
 463  
 464  
 465  
 466  
 467  
 468  
 469  
 470  
 471  
 472  
 473  
 474  
 475  
 476  
 477  
 478  
 479  
 480  
 481  
 482  
 483  
 484  
 485  
 486  
 487  
 488  
 489  
 490  
 491  
 492  
 493  
 494  
 495  
 496  
 497  
 498  
 499  
 500  
 501  
 502  
 503  
 504  
 505  
 506  
 507  
 508  
 509  
 510  
 511  
 512  
 513  
 514  
 515  
 516  
 517  
 518  
 519  
 520  
 521  
 522  
 523  
 524  
 525  
 526  
 527  
 528  
 529  
 530  
 531  
 532  
 533  
 534  
 535  
 536  
 537  
 538  
 539  
 540  
 541  
 542  
 543  
 544  
 545  
 546  
 547  
 548  
 549  
 550  
 551  
 552  
 553  
 554  
 555  
 556  
 557  
 558  
 559  
 560  
 561  
 562  
 563  
 564  
 565  
 566  
 567  
 568  
 569  
 570  
 571  
 572  
 573  
 574  
 575  
 576  
 577  
 578  
 579  
 580  
 581  
 582  
 583  
 584  
 585  
 586  
 587  
 588  
 589  
 590  
 591  
 592  
 593  
 594  
 595  
 596  
 597  
 598  
 599  
 600  
 601  
 602  
 603  
 604  
 605  
 606  
 607  
 608  
 609  
 610  
 611  
 612  
 613  
 614  
 615  
 616  
 617  
 618  
 619  
 620  
 621  
 622  
 623  
 624  
 625  
 626  
 627  
 628  
 629  
 630  
 631  
 632  
 633  
 634  
 635  
 636  
 637  
 638  
 639  
 640  
 641  
 642  
 643  
 644  
 645  
 646  
 647  
 648  
 649  
 650  
 651  
 652  
 653  
 654  
 655  
 656  
 657  
 658  
 659  
 660  
 661  
 662  
 663  
 664  
 665  
 666  
 667  
 668  
 669  
 670  
 671  
 672  
 673  
 674  
 675  
 676  
 677  
 678  
 679  
 680  
 681  
 682  
 683  
 684  
 685  
 686  
 687  
 688  
 689  
 690  
 691  
 692  
 693  
 694  
 695  
 696  
 697  
 698  
 699  
 700  
 701  
 702  
 703  
 704  
 705  
 706  
 707  
 708  
 709  
 710  
 711  
 712  
 713  
 714  
 715  
 716  
 717  
 718  
 719  
 720  
 721  
 722  
 723  
 724  
 725  
 726  
 727  
 728  
 729  
 730  
 731  
 732  
 733  
 734  
 735  
 736  
 737  
 738  
 739  
 740  
 741  
 742  
 743  
 744  
 745  
 746  
 747  
 748  
 749  
 750  
 751  
 752  
 753  
 754  
 755  
 756  
 757  
 758  
 759  
 760  
 761  
 762  
 763  
 764  
 765  
 766  
 767  
 768  
 769  
 770  
 771  
 772  
 773  
 774  
 775  
 776  
 777  
 778  
 779  
 780  
 781  
 782  
 783  
 784  
 785  
 786  
 787  
 788  
 789  
 790  
 791  
 792  
 793  
 794  
 795  
 796  
 797  
 798  
 799  
 800  
 801  
 802  
 803  
 804  
 805  
 806  
 807  
 808  
 809  
 810  
 811  
 812  
 813  
 814  
 815  
 816  
 817  
 818  
 819  
 820  
 821  
 822  
 823  
 824  
 825  
 826  
 827  
 828  
 829  
 830  
 831  
 832  
 833  
 834  
 835  
 836  
 837  
 838  
 839  
 840  
 841  
 842  
 843  
 844  
 845  
 846  
 847  
 848  
 849  
 850  
 851  
 852  
 853  
 854  
 855  
 856  
 857  
 858  
 859  
 860  
 861  
 862  
 863  
 864  
 865  
 866  
 867  
 868  
 869  
 870  
 871  
 872  
 873  
 874  
 875  
 876  
 877  
 878  
 879  
 880  
 881  
 882  
 883  
 884  
 885  
 886  
 887  
 888  
 889  
 890  
 891  
 892  
 893  
 894  
 895  
 896  
 897  
 898  
 899  
 900  
 901  
 902  
 903  
 904  
 905  
 906  
 907  
 908  
 909  
 910  
 911  
 912  
 913  
 914  
 915  
 916  
 917  
 918  
 919  
 920  
 921  
 922  
 923  
 924  
 925  
 926  
 927  
 928  
 929  
 930  
 931  
 932  
 933  
 934  
 935  
 936  
 937  
 938  
 939  
 940  
 941  
 942  
 943  
 944  
 945  
 946  
 947  
 948  
 949  
 950  
 951  
 952  
 953  
 954  
 955  
 956  
 957  
 958  
 959  
 960  
 961  
 962  
 963  
 964  
 965  
 966  
 967  
 968  
 969  
 970  
 971  
 972  
 973  
 974  
 975  
 976  
 977  
 978  
 979  
 980  
 981  
 982  
 983  
 984  
 985  
 986  
 987  
 988  
 989  
 990  
 991  
 992  
 993  
 994  
 995  
 996  
 997  
 998  
 999  
 1000  
 1001  
 1002  
 1003  
 1004  
 1005  
 1006  
 1007  
 1008  
 1009  
 1010  
 1011  
 1012  
 1013  
 1014  
 1015  
 1016  
 1017  
 1018  
 1019  
 1020  
 1021  
 1022  
 1023  
 1024  
 1025  
 1026  
 1027  
 1028  
 1029  
 1030  
 1031  
 1032  
 1033  
 1034  
 1035  
 1036  
 1037  
 1038  
 1039  
 1040  
 1041  
 1042  
 1043  
 1044  
 1045  
 1046  
 1047  
 1048  
 1049  
 1050  
 1051  
 1052  
 1053  
 1054  
 1055  
 1056  
 1057  
 1058  
 1059  
 1060  
 1061  
 1062  
 1063  
 1064  
 1065  
 1066  
 1067  
 1068  
 1069  
 1070  
 1071  
 1072  
 1073  
 1074  
 1075  
 1076  
 1077  
 1078  
 1079  
 1080  
 1081  
 1082  
 1083  
 1084  
 1085  
 1086  
 1087  
 1088  
 1089  
 1090  
 1091  
 1092  
 1093  
 1094  
 1095  
 1096  
 1097  
 1098  
 1099  
 1100  
 1101  
 1102  
 1103  
 1104  
 1105  
 1106  
 1107  
 1108  
 1109  
 1110  
 1111  
 1112  
 1113  
 1114  
 1115  
 1116  
 1117  
 1118  
 1119  
 1120  
 1121  
 1122  
 1123  
 1124  
 1125  
 1126  
 1127  
 1128  
 1129  
 1130  
 1131  
 1132  
 1133  
 1134  
 1135  
 1136  
 1137  
 1138  
 1139  
 1140  
 1141  
 1142  
 1143  
 1144  
 1145  
 1146  
 1147  
 1148  
 1149  
 1150  
 1151  
 1152  
 1153  
 1154  
 1155  
 1156  
 1157  
 1158  
 1159  
 1160  
 1161  
 1162  
 1163  
 1164  
 1165  
 1166  
 1167  
 1168  
 1169  
 1170  
 1171  
 1172  
 1173  
 1174  
 1175  
 1176  
 1177  
 1178  
 1179  
 1180  
 1181  
 1182  
 1183  
 1184  
 1185  
 1186  
 1187  
 1188  
 1189  
 1190  
 1191  
 1192  
 1193  
 1194  
 1195  
 1196  
 1197  
 1198  
 1199  
 1200  
 1201  
 1202  
 1203  
 1204  
 1205  
 1206  
 1207  
 1208  
 1209  
 1210  
 1211  
 1212  
 1213  
 1214  
 1215  
 1216  
 1217  
 1218  
 1219  
 1220  
 1221  
 1222  
 1223  
 1224  
 1225  
 1226  
 1227  
 1228  
 1229  
 1230  
 1231  
 1232  
 1233  
 1234  
 1235  
 1236  
 1237  
 1238  
 1239  
 1240  
 1241  
 1242  
 1243  
 1244  
 1245  
 1246  
 1247  
 1248  
 1249  
 1250  
 1251  
 1252  
 1253  
 1254  
 1255  
 1256  
 1257  
 1258  
 1259  
 1260  
 1261  
 1262  
 1263  
 1264  
 1265  
 1266  
 1267  
 1268  
 1269  
 1270  
 1271  
 1272  
 1273  
 1274  
 1275  
 1276  
 1277  
 1278  
 1279  
 1280  
 1281  
 1282  
 1283  
 1284  
 1285  
 1286  
 1287  
 1288  
 1289  
 1290  
 1291  
 1292  
 1293  
 1294  
 1295  
 1296  
 1297  
 1298  
 1299  
 1300  
 1301  
 1302  
 1303  
 1304  
 1305  
 1306  
 1307  
 1308  
 1309  
 1310  
 1311  
 1312  
 1313  
 1314  
 1315  
 1316  
 1317  
 1318  
 1319  
 1320  
 1321  
 1322  
 1323  
 1324  
 1325  
 1326  
 1327  
 1328  
 1329  
 1330  
 1331  
 1332  
 1333  
 1334  
 1335  
 1336  
 1337  
 1338  
 1339  
 1340  
 1341  
 1342  
 1343  
 1344  
 1345  
 1346  
 1347  
 1348  
 1349  
 1350  
 1351  
 1352  
 1353  
 1354  
 1355  
 1356  
 1357  
 1358  
 1359  
 1360  
 1361  
 1362  
 1363  
 1364  
 1365  
 1366  
 1367  
 1368  
 1369  
 1370  
 1371  
 1372  
 1373  
 1374  
 1375  
 1376  
 1377  
 1378  
 1379  
 1380  
 1381  
 1382  
 1383  
 1384  
 1385  
 1386  
 1387  
 1388  
 1389  
 1390  
 1391  
 1392  
 1393  
 1394  
 1395  
 1396  
 1397  
 1398  
 1399  
 1400  
 1401  
 1402  
 1403  
 1404  
 1405  
 1406  
 1407  
 1408  
 1409  
 1410  
 1411  
 1412  
 1413  
 1414  
 1415  
 1416  
 1417  
 1418  
 1419  
 1420  
 1421  
 1422  
 1423  
 1424  
 1425  
 1426  
 1427  
 1428  
 1429  
 1430  
 1431  
 1432  
 1433  
 1434  
 1435  
 1436  
 1437  
 1438  
 1439  
 1440  
 1441  
 1442  
 1443  
 1444  
 1445  
 1446  
 1447  
 1448  
 1449  
 1450  
 1451  
 14

#### 4.4.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Es fácilmente observable que los resultados obtenidos, tanto para el programa A como para el B, son satisfactorios desde el punto de vista de rendimiento óptimo especificado para transformadores de esta capacidad.

No obstante se nota una ligera superioridad de los resultados del programa A, con los del programa B. Esto se justifica dado el hecho de que el programa A tiene la facilidad de variar las dimensiones del núcleo, lo que está restringido para el programa B.

En todo caso los resultados obtenidos son favorables. Desde luego que si el núcleo es completamente armado en nuestro país se deberá tener mucho cuidado en esto, ya que como se ha analizado en artículos anteriores, las propiedades de las láminas magnéticas, dependen en gran parte del tratamiento que se les dé.

Por el momento este tipo de núcleos no se los diseña en nuestro país, lo que hace que éstos se importen del extranjero.

De todas formas ya sea uno u otro caso, se importe o no, se tiene la facilidad de utilizar uno u otro programa.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación del computador al diseño de transformadores de distribución, proporciona al diseñador y fabricante una arma eficaz.

Los hechos básicos que deben ser tomados en cuenta son: la fijación de ciertas premisas, tales como núcleo, bobinas y materiales a usar, a fin de poder desarrollar adecuadamente las fórmulas teóricas generales. Definidos estos puntos, puede encaminarse la programación adecuada hacia los objetivos.

Los programas aquí desarrollados tienen limitaciones.

Las limitaciones son:

- El conductor empleado para el diseño de las bobinas es único, que es el proporcionado por el diseñador. Lo ideal sería que internamente el programa determine cuál es el conductor óptimo a requerirse para cada diseño, pero esto significaría que el fabricante debería tener diferentes conductores disponibles, lo que en la realidad no es cierto; y, como normalmente el conductor es importado, se incrementan las limitaciones en este aspecto.

- El mismo caso del conductor ocurre con el material magnético para los núcleos, aunque en este aspecto es fácil cambiar las características de las láminas dentro de las subrutinas empleadas en caso de importar otro material que el utilizado en los programas.
- Sólo se diseñan transformadores de distribución de tipo acorazado y a un sólo nivel de voltaje. Sin embargo esto no acarrea mayores problemas para expandir los programas a un voltaje nominal diferente al especificado y se tendría que entrar simplemente a un estudio más detallado del aislamiento necesario;

El criterio empleado para la obtención del diseño óptimo, cuál es el de maximizar el rendimiento del transformador, no es único. Podría haberse establecido otro; por ejemplo, determinación del costo mínimo, utilizando las máximas pérdidas toleradas por las normas. O bien, en el caso que por motivos de aprovisionamiento o de dificultad en la importación de materias primas, se hubiera planteado de la necesidad de utilizar el mínimo hierro.

El criterio planteado, se estima como el más acorde a la realidad del fabricante nacional. Una variación recomendada para el programa es la posibilidad de que los resultados obtenidos incluyan las características de diseño para más de un conductor, lo que en materia de programación es fácil hacerlo. De esta manera se tiene un conjunto de resultados superior al hasta aquí especificado y de fácil comparación de -

los mismos para determinar el conductor apropiado de los disponibles para cada diseño.

A manera de ejemplo se presentan los resultados obtenidos para el mismo diseño de un transformador de 15KVA, pero cambiando el conductor que utiliza INATRA, notándose que en este caso se obtienen resultados mejores que en el ejemplo anterior.

Los conductores utilizados para este caso fueron:

Baja tensión: 9.27 x 2,59 mm.

Alta tensión: 1,1 x 1,1 mm.

ESCUOLA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

UTILIZACION DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 15.0 KVA.

DENSIDAD DE FLUJO = 1.32 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KO=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKN= 2.3

ALTEURA FISICA DEL NUCLEO =	117.26 MM	NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS =	20
ALTEURA DE LA VENTANA =	171.13 MM	NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS =	1770
ANCHO DE LA VENTANA =	53.71 MM	NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS =	16
ESPESOR DEL NUCLEO =	51.02 MM	NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) =	110
AREA EFECTIVA DEL NUCLEO =	11618.95 CM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO PRIMARIO =	747.71 MM
AREA GEOMETRICA =	11978.29 CM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO =	717.71 MM
VOLUMEN DEL NUCLEO(1) =	3617057.90 MM <sup>3</sup>	PESO DEL NUCLEO UNITARIO =	27.07 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO =	2.24 KG	PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS =	14.224 W
PESO DEL COBRE SECUNDARIO =	8.40 KG	PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS =	120.16 W
PESO DEL COBRE TOTAL =	10.64 KG	PERDIDAS DEL COBRE TOTALES =	134.38 W
PESO TOTAL DEL NUCLEO =	55.34 KG	PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO =	92.17 W

CAIDAS DE CORTECIRCUITO

RESISTIVA = 2.00 0/0

REACTIVA = 1.54 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.55 0/0

PERDIDAS TOTALES = 352.58 W

RENDIMIENTO = 97.70

10 15  
12 50  
10 15  
8 57  
5 59  
10  
10 15  
2 00

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.49 KILOGAUSS  
RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KU=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKA= 2.4

ALTIMA FISICA DEL NUCLEO = 119789 MM  
ALTURA DE LA VENTANA = 161472 MM  
ANCHO DE LA VENTANA = 51471 MM  
ESPESOR DEL NUCLEO = 4385 MM  
AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 11618429 MM<sup>2</sup>  
AREA GEOMETRICA = 11978429 MM<sup>2</sup>  
VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 3488414304 MM<sup>3</sup>  
NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 52  
NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1691  
NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 16  
NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 108  
PERIMETRO MEDIO PRIMARIO = 716.46 CM  
PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO = 733.95 CM  
PESO DEL NUCLEO UNITARIO = 20.05 KG

PESO DEL CABLE PRIMARIO = 4.68 KG  
PESO DEL CABLE SECUNDARIO = 7.31 KG  
PESO DEL CABLE TOTAL = 11.99 KG  
PESO TOTAL DEL NUCLEO = 53.30 KG  
PERDIDAS DEL CABLE PRIMARIO = 194.56 W  
PERDIDAS DEL CABLE SECUNDARIO = 147.01 W  
PERDIDAS DEL CABLE TOTAL = 279.43 W  
PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 30.14 W

CAIDAS DE CORRIENTE

RESISTIVA = 1.86 OHO

REACTIVA = 1.42 OVS

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.64 O/O

PERDIDAS TOTALES = 339.58 W

RENDIMIENTO = 97.78

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.61 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO K0=30

RELACION ENTRE ALTURA FÍSICA Y ESPESOR FKN= 2.6

ALTURA FÍSICA DEL NUCLEO = 174.78 MM      NÚMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 40  
 ALTURA DE LA VENTANA = 152.21 MM      NÚMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1224  
 ANCHO DE LA VENTANA = 59.71 MM      NÚMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 16  
 ESPESOR DEL NUCLEO = 47.99 MM      NÚMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 100  
 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 11618.95 MM<sup>2</sup>      PERÍMETRO MEDIO PRIMARIO = 749.41 CM  
 AREA GEOMÉTRICA = 11976.22 MM<sup>2</sup>      PERÍMETRO MEDIO SECUNDARIO = 749.41 CM  
 VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 3334596.16 MM<sup>3</sup>      PESO DEL NUCLEO UNITARIO = 29.90 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 8.04 KG      PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 124.99 W  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 7.23 KG      PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 190.07 W  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 16.23 KG      PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 298.49 W  
 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 51.01 KG      PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 71.49 W

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 1.72 0/0

REACTIVA = 1.90 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.84 0/0

PERDIDAS TOTALES = 329.95 W

RENDIMIENTO = 97.64

12.50

10.55

6.97

6.90

4.01

2.63

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.61 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KO=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKN= 2.6

24	ALTURA FISICA DEL NUCLEO =	124.78 MM	NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS =	40
25	ALTURA DE LA VENTANA =	152.31 MM	NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS =	1524
26	ANCHO DE LA VENTANA =	59.71 MM	NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS =	16
27	ESPESOR DEL NUCLEO =	47.99 MM	NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) =	100
28	AREA EFECTIVA DEL NUCLEO =	11616.95 MM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO PRIMARIO =	720.41 mm
29	AREA GEOMETRICA =	11976.29 MM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO =	720.41 mm
30	VOLUMEN DEL NUCLEO(1) =	3334568.16 MM <sup>3</sup>	PESO DEL NUCLEO UNITARIO =	29.50 KG

31	PESO DEL COBRE PRIMARIO =	8.04 KG	PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS =	122.36 W
32	PESO DEL COBRE SECUNDARIO =	7.23 KG	PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS =	130.07 W
33	PESO DEL COBRE TOTAL =	16.03 KG	PERDIDAS DEL COBRE TOTALES =	290.45 W
34	PESO TOTAL DEL NUCLEO =	51.01 KG	PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO =	71.49 W

CAPAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 1.72 O/O

REACTIVA = 1.30 O/O

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.84 O/O

PERDIDAS TOTALES = 329.95 W

RENDIMIENTO = 97.84

12 53

10 35

6 51

6 13

6 23

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

UTILIZACION DEL PROGRAMA A

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.76 KILOGAUSS

RELACION ENTRE KVA Y AREA EFEC DEL NUCLEO KO=30

RELACION ENTRE ALTURA FISICA Y ESPESOR FKN= 2.8

35	ALTURA FISICA DEL NUCLEO =	129.49 MM	NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS =	44
36	ALTURA DE LA VENTANA =	142.90 MM	NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS =	1597
37	ANCHO DE LA VENTANA =	50.71 MM	NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS =	16
38	ESPESOR DEL NUCLEO =	46.24 MM	NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) =	91
39	AREA EFECTIVA DEL NUCLEO =	11615.09 CM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO PRIMARIO =	722.85 MM
40	AREA GEOMETRICA =	11702.27 CM <sup>2</sup>	PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO =	724.82 MM
41	VOLUMEN DEL NUCLEO(1) =	3187051.21 MM <sup>3</sup>	PESO DEL NUCLEO UTILIZADO =	24.39 KG

34	PESO DEL COBRE PRIMARIO =	7.39 KG	PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS =	114.90 W
35	PESO DEL COBRE SECUNDARIO =	6.65 KG	PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS =	129.16 W
36	PESO DEL COBRE TOTAL =	14.75 KG	PERDIDAS DEL COBRE TOTAL =	237.72 W
37	PESO TOTAL DEL NUCLEO =	48.79 KG	PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO =	90.54 W

CAIDAS DE CORRIENTE

REGISTIVA = 1.58 O/O

REACTIVA = 1.18 O/O

CORRIENTE DE EXCITACION = 1.51 O/O

PERDIDAS TOTALES = 328.26 W

RENDIMIENTO = 97.69

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA B

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.42 KILOGAUSS  
 ALTURA FÍSICA DEL NÚCLEO = 136.00 MM  
 ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM  
 ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM  
 ESPESOR DEL NÚCLEO = 40.00 MM  
 ÁREA EFECTIVA DEL NÚCLEO = 10553.60 MM<sup>2</sup>  
 ÁREA GEOMÉTRICA = 10480.00 MM<sup>2</sup>  
 VOLUMEN DEL NÚCLEO(1) = 0.00 MM<sup>3</sup>  
 NÚMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 90  
 NÚMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1905  
 NÚMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 0  
 NÚMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 0  
 PERÍMETRO MEDIO PRIMARIO = 0.00 MM  
 PERÍMETRO MEDIO SECUNDARIO = 0.00 MM  
 PESO DEL NÚCLEO UNITARIO = 0.00 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 0.00 KG  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 0.00 KG  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 0.00 KG  
 PESO TOTAL DEL NÚCLEO = 0.00 KG  
 PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 0.00 W  
 PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 0.00 W  
 PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 0.00 W  
 PERDIDAS TOTALES DEL NÚCLEO = 0.00 W

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 0.00 Ω  
 REACTIVA = 0.00 Ω

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.00 0/0

PERDIDAS TOTALES = 0.00 W  
 RENDIMIENTO = 0.00

DENSIDAD DE FLUJO = 1.52 KILOGAUSS  
 ALTURA FISICA DEL NUCLEO = 156.00 MM      NUMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 20  
 ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM      NUMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1770  
 ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM      NUMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 0  
 ESPESOR DEL NUCLEO = 40.00 MM      NUMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 0  
 AREA EFECTIVA DEL NUCLEO = 10553.60 CM<sup>2</sup>      PERIMETRO MEDIO PRIMARIO = 0.000 MM  
 AREA GEOMETRICA = 10890.00 CM<sup>2</sup>      PERIMETRO MEDIO SECUNDARIO = 0.000 MM  
 VOLUMEN DEL NUCLEO(1) = 0.00 MM<sup>3</sup>      PESO DEL NUCLEO UNITARIO = 0.000 NU

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 0.000 W  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 0.000 W  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 0.000 W  
 PESO TOTAL DEL NUCLEO = 0.00 KG      PERDIDAS TOTALES DEL NUCLEO = 0.000 W

SALIDAS DE CORTECIRCUITO

RESISTIVA = 0.00 0/0

REACTIVA = 0.00 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.00 0/0

PERDIDAS TOTALES = 0.00 W

RENDIMIENTO = 0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA B

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

EFECTIVIDAD DE FLUJO = 1.52 KILOGAUSS

ALTURA FÍSICA DEL NÚCLEO = 136.00 MM      NÚMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 96  
 ALTURA DE LA VENTANA = 155.00 MM      NÚMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1776  
 ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM      NÚMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 0  
 ESPESOR DEL NÚCLEO = 43.60 MM      NÚMERO DE VUELTAS POR CA M (1) = 0  
 ÁREA EFECTIVA DEL NÚCLEO = 10553.60 MM<sup>2</sup>      PERÍMETRO MEDIO PRIMARIO = 0.00 MM  
 ÁREA GEOMÉTRICA = 10800.00 MM<sup>2</sup>      PERÍMETRO MEDIO SECUNDARIO = 0.00 MM  
 VOLUMEN DEL NÚCLEO(1) = 0.00 MM<sup>3</sup>      PESO DEL NÚCLEO SANTIAGO = 0.00 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIO = 0.00 W  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIO = 0.00 W  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 0.00 KG      PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 0.00 W  
 PESO TOTAL DEL NÚCLEO = 0.00 KG      PERDIDAS TOTALES DEL NÚCLEO = 0.00 W

CALCULO DE CORTOCIRCUITO

REACTIVA = 0.00 0/0

INDUCTIVA = 0.00 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.00 0/0

PERDIDAS TOTALES = 0.00 W

REACTIVO = 0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA B

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

DENSIDAD DE FLUJO = 1.64 KILOGAUS

ALTURA FÍSICA DEL NÚCLEO = 136.00 MM  
 ALTURA DE LA VENTANA = 159.00 MM  
 ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM  
 ESPESOR DEL NÚCLEO = 40.00 MM  
 ÁREA EFECTIVA DEL NÚCLEO = 10553.60 CM<sup>2</sup>  
 ÁREA SECCIONÁLICA = 10280.00 CM<sup>2</sup>  
 VOLUMEN DEL NÚCLEO(1) = 0.00 MM<sup>3</sup>

NÚMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 54  
 NÚMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1001  
 NÚMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 0  
 NÚMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 0  
 PERDIDAS DEL NÚCLEO PRIMARIO = 0.00 W  
 PERDIDAS DEL NÚCLEO SECUNDARIO = 0.00 W  
 PESO DEL NÚCLEO UNITARIO = 0.00 KG

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 0.00 KG  
 PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 0.00 KG  
 PESO DEL COBRE TOTAL = 0.00 KG  
 PESO TOTAL DEL NÚCLEO = 0.00 KG

PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 0.00 W  
 PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 0.00 W  
 PERDIDAS DEL COBRE TOTAL = 0.00 W  
 PERDIDAS TOTALES DEL NÚCLEO = 0.00 W

CAIDAS DE CORTECIRCUITO

RESISTIVA = 0.00 O/O  
 REACTIVA = 0.00 O/O

CORRIENTE DE EXCITACION = 0.00 O/O

PERDIDAS TOTALES = 0.00 W  
 RENDIMIENTO = 0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA B

DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 15.0 KVA

LEJOSIDAD DE FLUJO = 1.77 KILOGAUS

ALTIMA FÍSICA DEL NÚCLEO = 136.00 MM

ALTIMA DE LA VENTANA = 150.00 MM

ANCHO DE LA VENTANA = 70.00 MM

ESPESOR DEL NÚCLEO = 40.00 MM

ÁREA EFECTIVA DEL NÚCLEO = 10553.60 MM<sup>2</sup>

ÁREA GEOMÉTRICA = 10880.00 MM<sup>2</sup>

VOLUMEN DEL NÚCLEO(1) = 3131264.00 MM<sup>3</sup>

PESO DEL COBRE PRIMARIO = 7.87 KG

PESO DEL COBRE SECUNDARIO = 7.07 KG

PESO DEL COBRE TOTAL = 14.94 KG

PESO TOTAL DEL NÚCLEO = 47.90 KG

CAIDAS DE CORTOCIRCUITO

RESISTIVA = 1.65 0/0

REACTIVA = 1.21 0/0

CORRIENTE DE EXCITACION = 1.58 0/0

PERDIDAS TOTALES = 344.96 W

RENDIMIENTO = 97.75

NÚMERO DE VUELTAS SECUNDARIAS = 40

NÚMERO DE VUELTAS PRIMARIAS = 1247

NÚMERO DE CAPAS PRIMARIAS = 15

NÚMERO DE VUELTAS POR CAPA (1) = 100

PERÍMETRO MEDIO PRIMARIO = 703.24 MM

PERÍMETRO MEDIO SECUNDARIO = 703.24 MM

PESO DEL NÚCLEO UNITARIO = 42.92 KG

PERDIDAS DEL COBRE PRIMARIAS = 119.70 W

PERDIDAS DEL COBRE SECUNDARIAS = 122.47 W

PERDIDAS DEL COBRE TOTALES = 242.17 W

PERDIDAS TOTALES DEL NÚCLEO = 91.96 W

Otra recomendación factible de realizar es tener una subrutina la que puede proporcionar los datos de las dimensiones físicas del núcleo que se las puede obtener de acuerdo a la importación que haga una fábrica de transformadores. Con esto se dá un nuevo giro al trabajo y se va optimizando el mismo.

También se puede pensar en crear una función en la que se establezcan datos del costo de los diferentes materiales que se utilizan y tener como salida de los programas una idea real del valor real de cada transformador diseñado, quedando a criterio del diseñador y/o fabricante, determinar la optimización con valores actuales y diversos.

## A N E X O

### NUCLEOS DE FUERZA Y METODO DE MONTAJE.-

Los Núcleos de Fuerza se fabrican del mejor acero al silicio disponible de granulación orientada, del grado 11 MIL M4. Los núcleos son enteramente recocidos después de la fabricación para obtener la mejor cualidad magnética.

En la fabricación de los Núcleos de Fuerza, cada laminación se corta a su longitud apropiada. Entonces se agrupan las laminaciones y se colocan una dentro de otra. Cada conjunto tiene un número de laminaciones al caso. Entonces se forman los conjuntos, tratados térmicamente para aliviar el esfuerzo en el núcleo, esfuerzo creado durante la formación.

Puesto que las laminaciones no se traslapan, los Núcleos de Fuerza, al montarse de nuevo a través de y alrededor de la bobina, forman un núcleo del mismo parecer como un núcleo sin juntas.

Seguir este procedimiento al preparar e instalar los Núcleos de Fuerza en el montaje de la bobina.

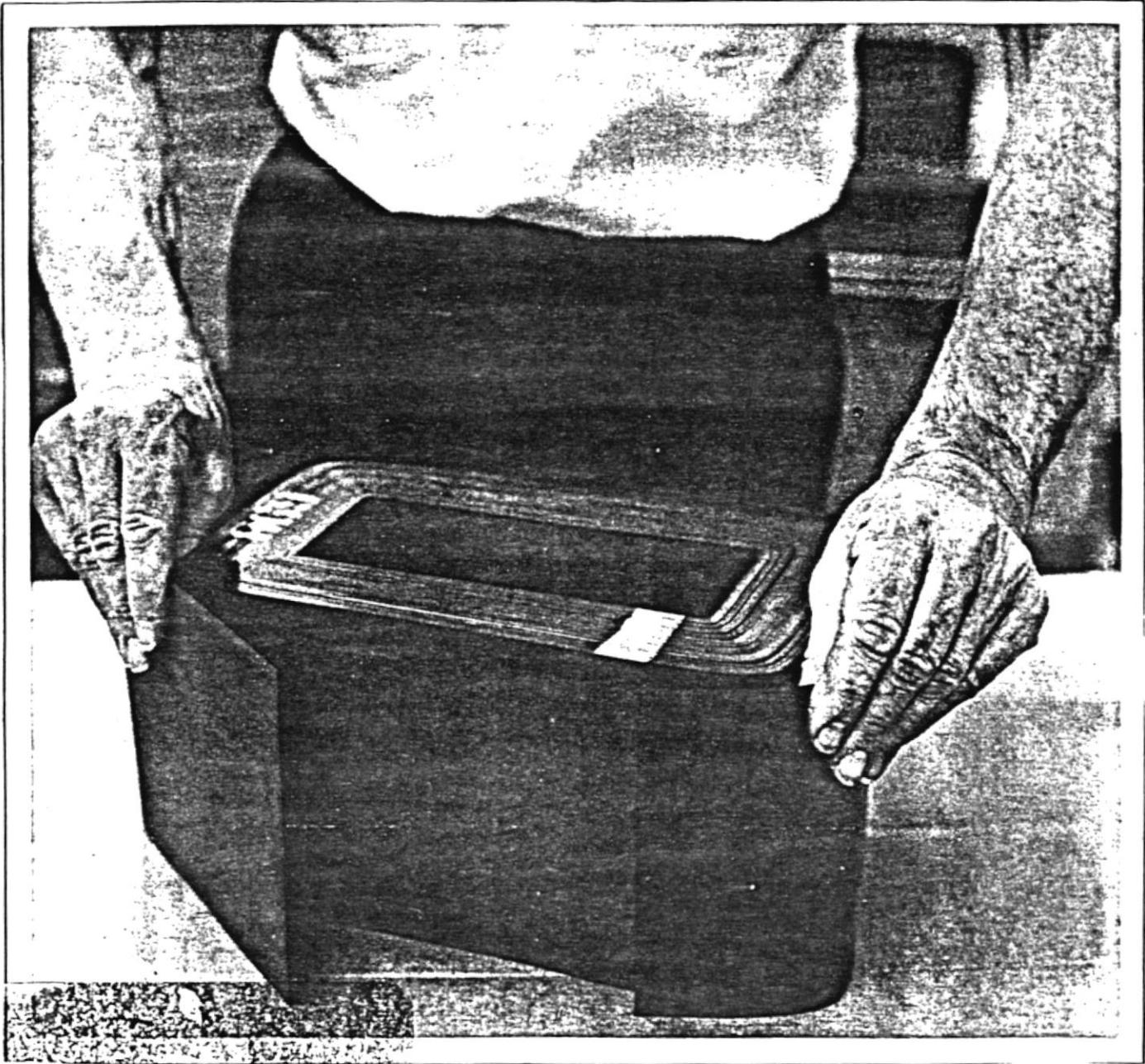


Figura a. debe quitar y poner a un lado la laminación exterior

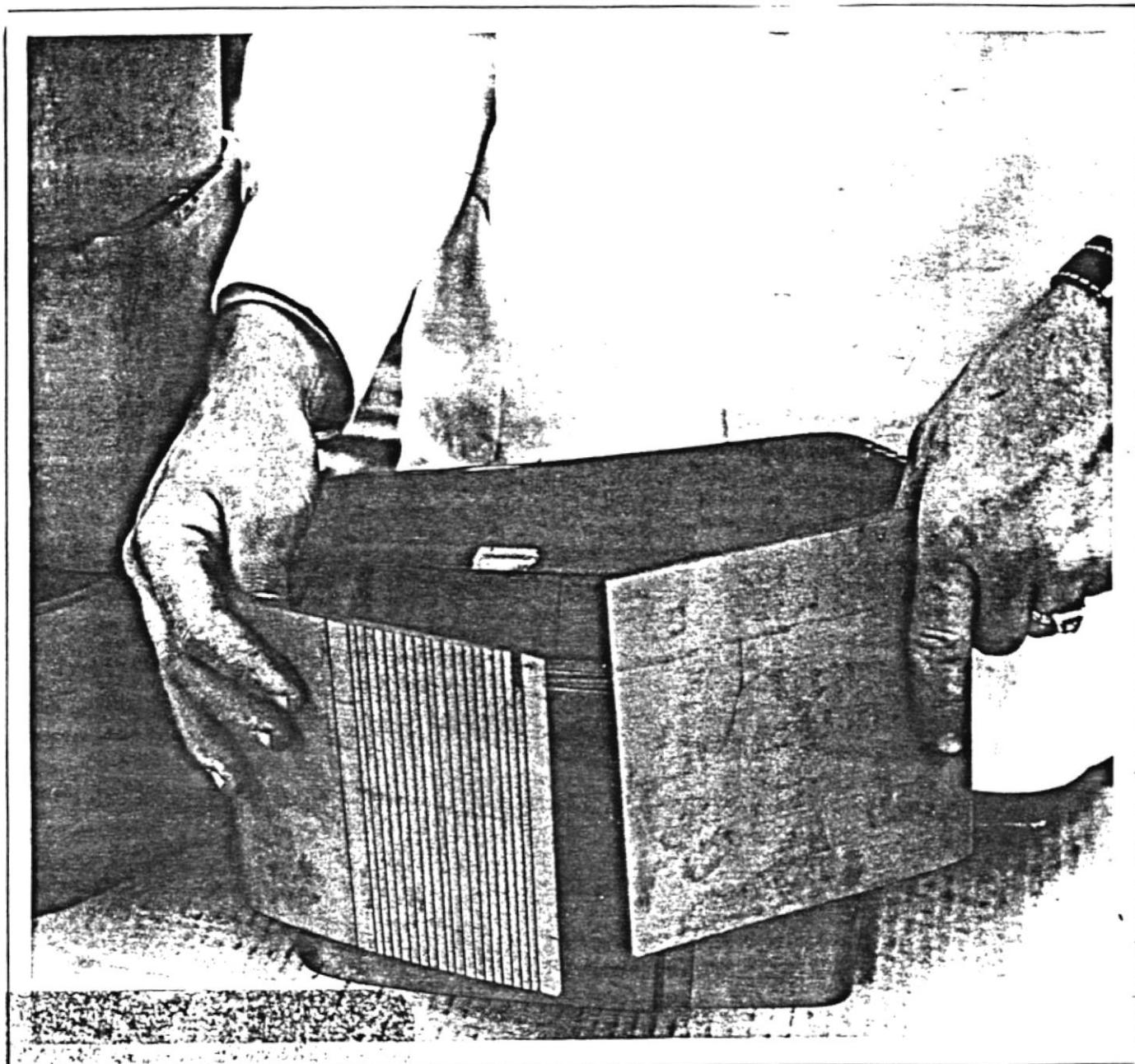


Figura b. Quitar enteros todos los conjuntos y ponerlos a un lado, preferiblemente de pila para juntarlos de nuevo en orden de sucesión.

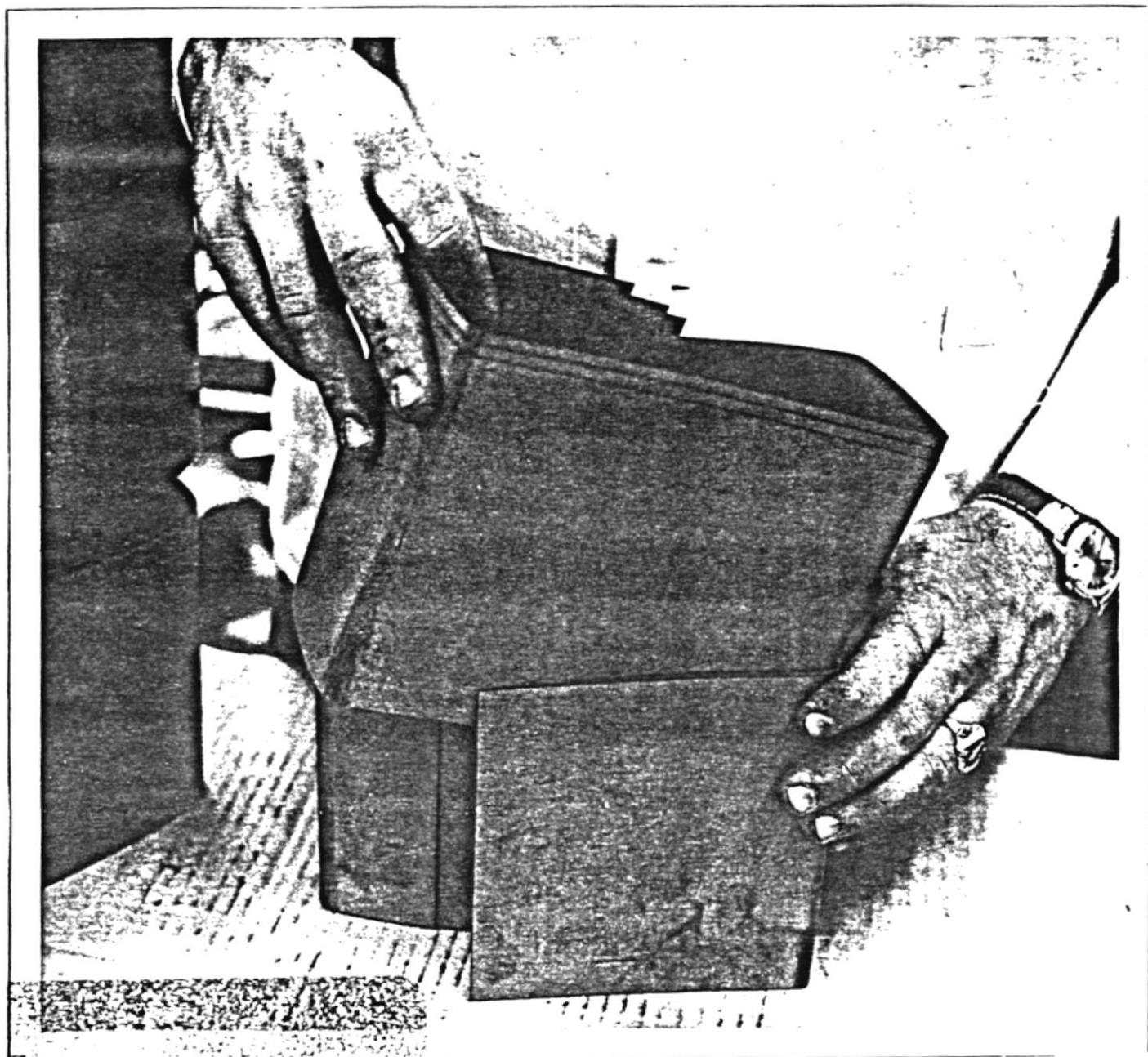


Fig. c Se quitan las últimas tres laminaciones en conjunto

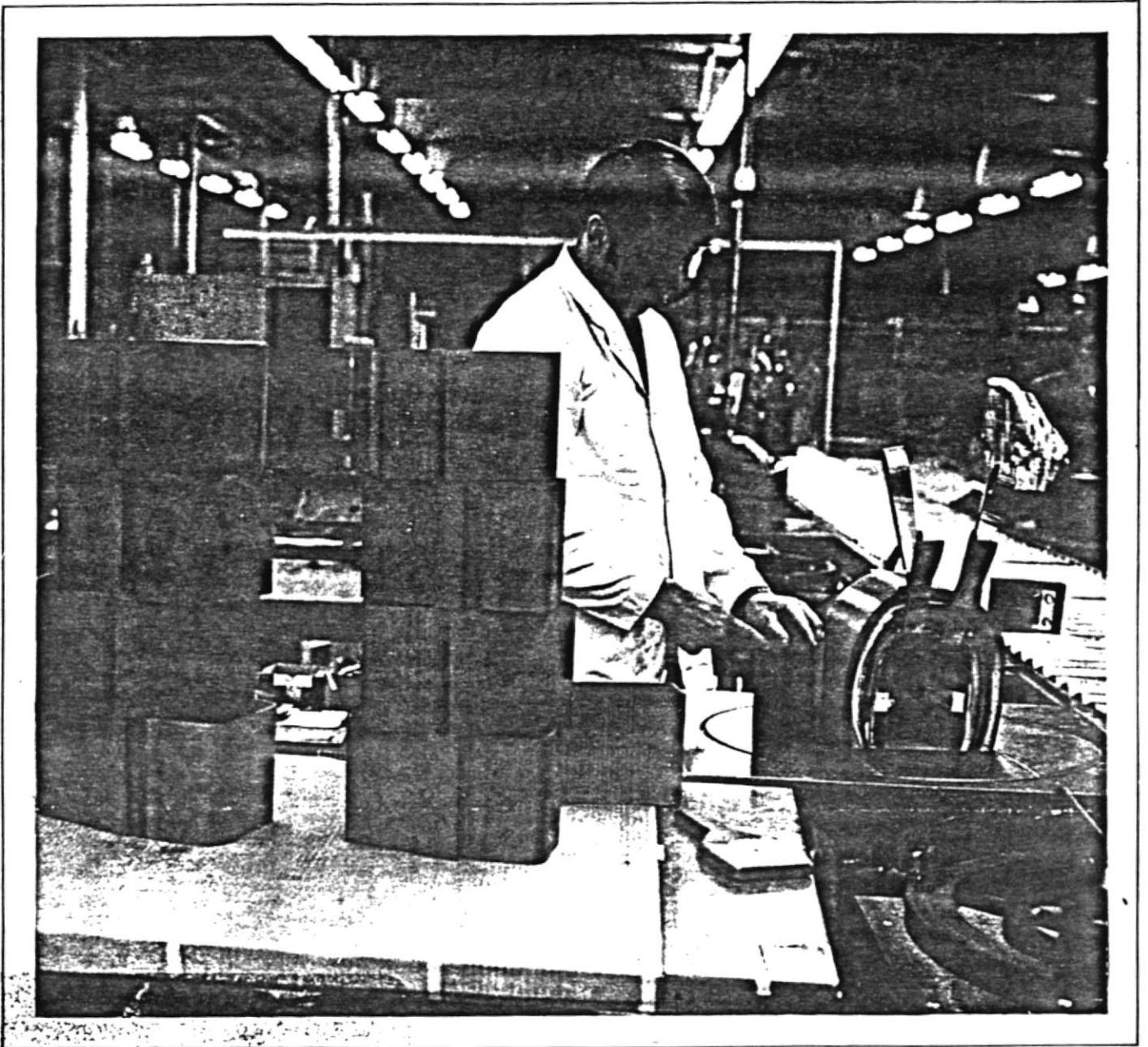


Fig. d Muestra los grupos de laminaciones en pila y en orden de sucesión en que fueron sacados. Están para instalarse en la bobina. Lo esencial es mantener la sucesión ordenada.

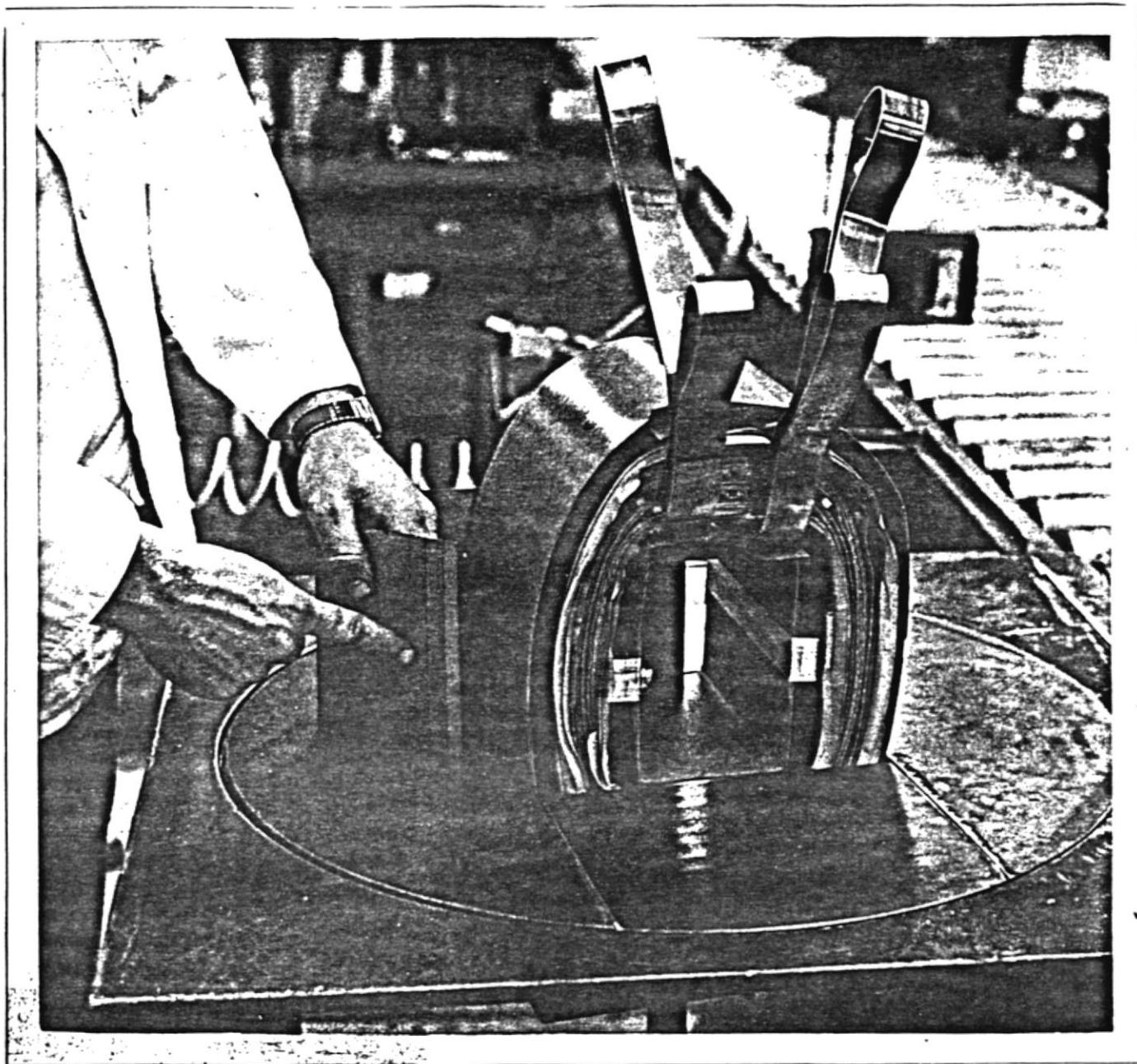


Fig. e Muestra de cerca el conjunto de 3 laminaciones en el proceso de ser instaladas. Las juntas se colocan en el montaje exterior de la bobina. El conjunto más pequeño se lo mete primero. Después se superpone el mayor sobre el primero y así sucesivamente hasta que se introduzca la laminación exterior.

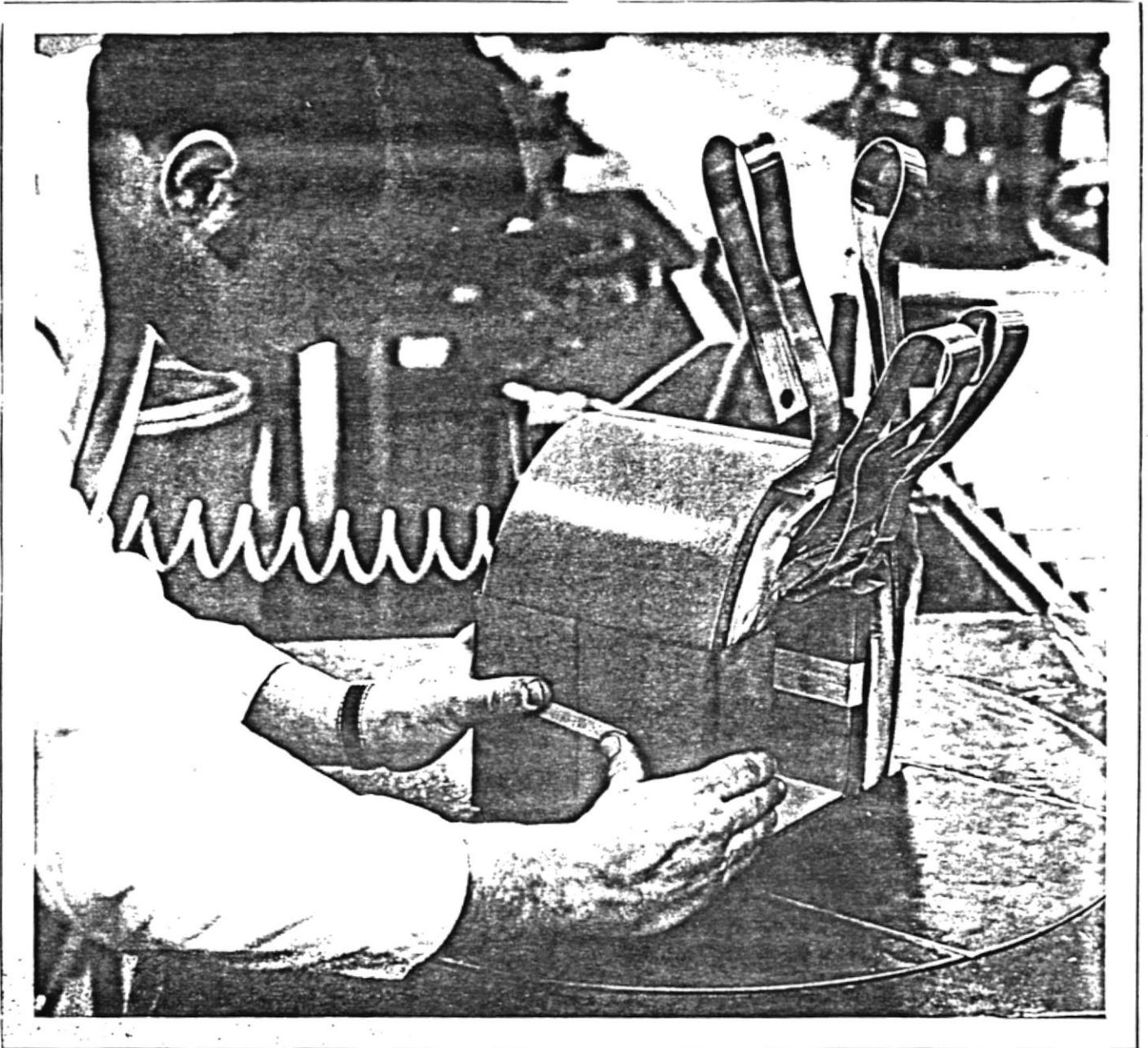


Fig. f Muestra el conjunto de 3 laminaciones puestas, retenidas por un pedazo pequeño de cinta. Se emplea la cinta únicamente para retener las laminaciones hasta que se instale el conjunto que sigue.

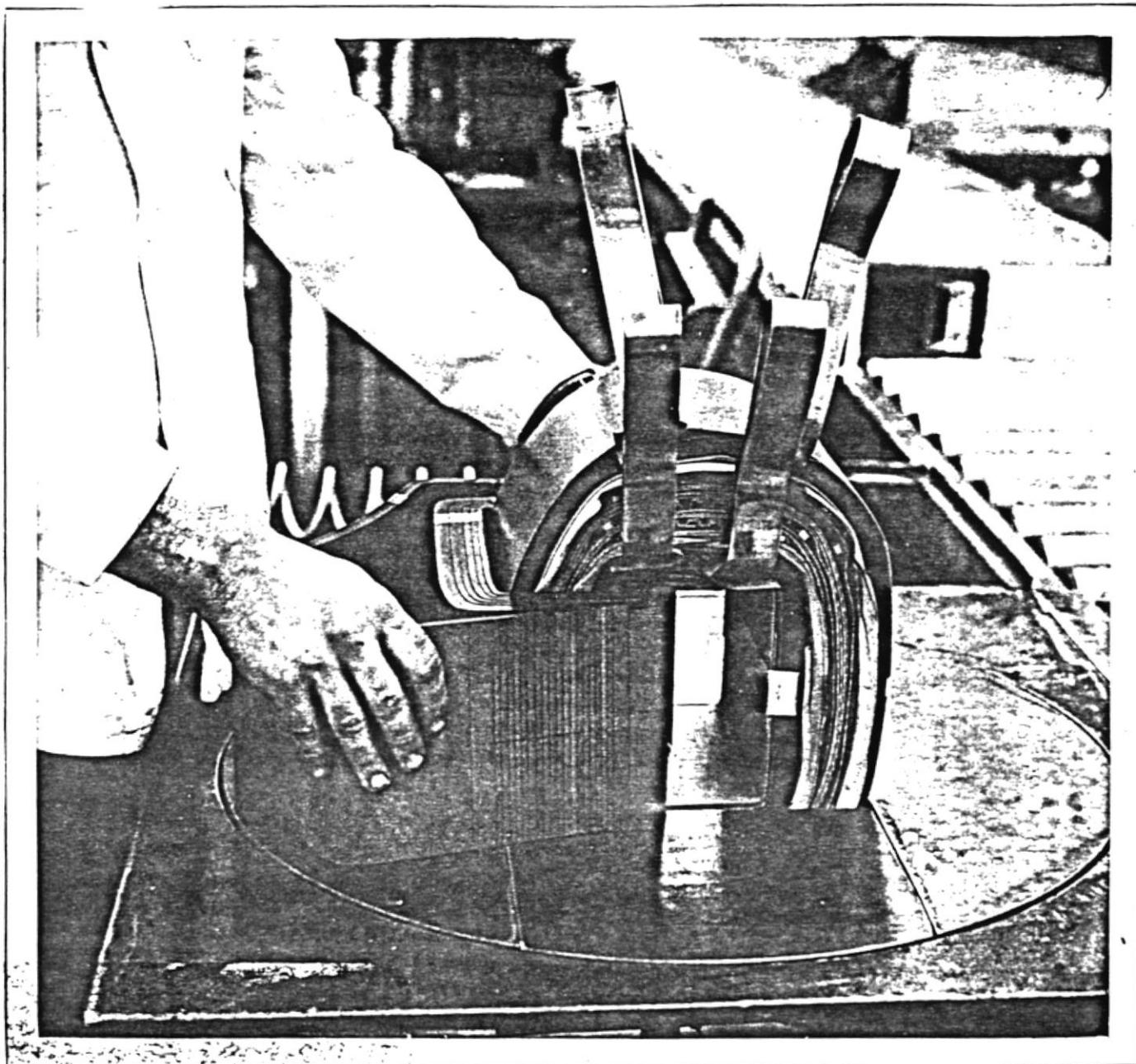


Figura g. Primero lo más bajo de las juntas debe ponerse dentro de la abertura. La parte de arriba de las juntas se encaja por el lado opuesto de la -  
abertura.

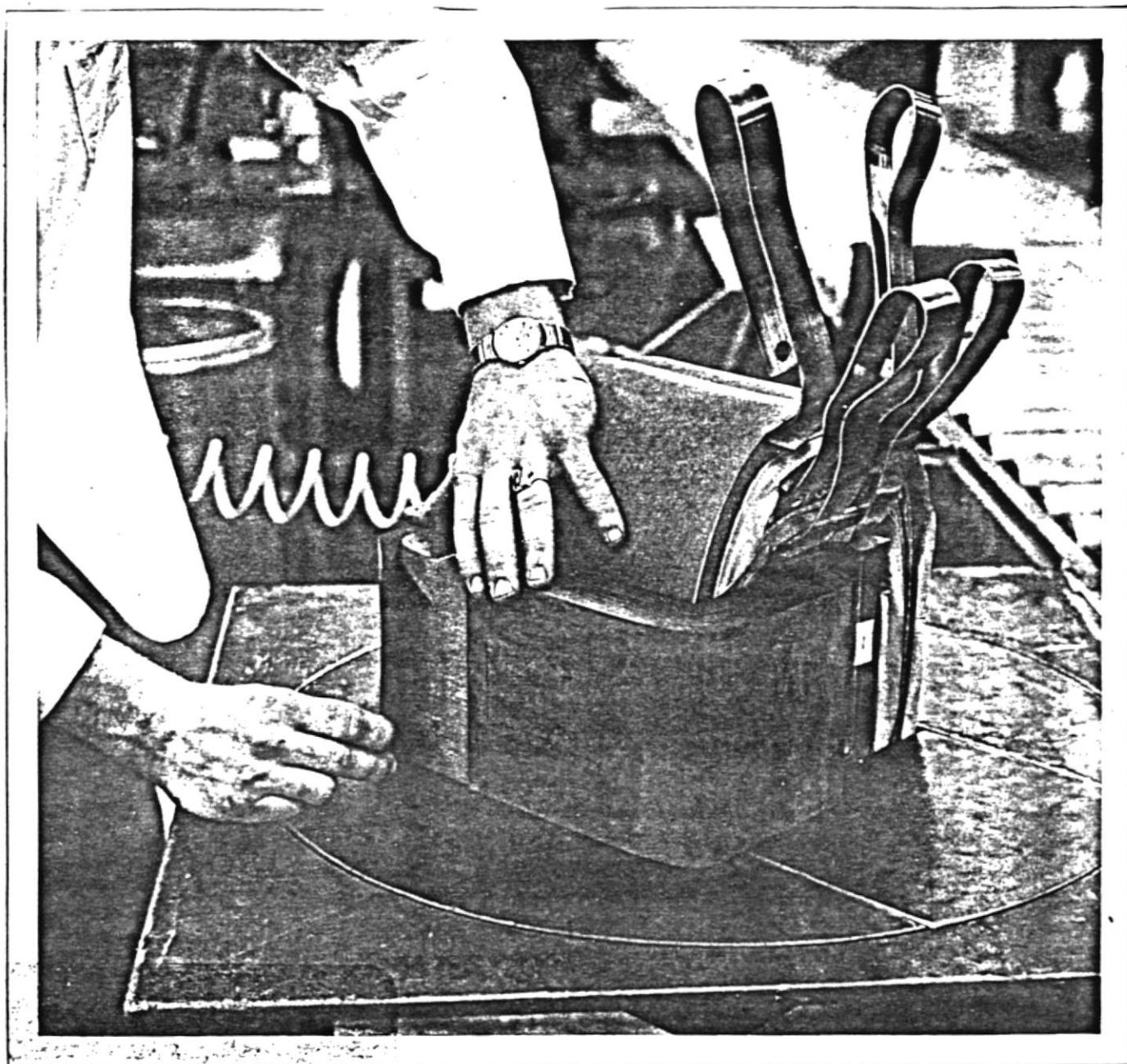


Figura h. Muestra la laminación exterior puesta. La laminación última y exterior (una hoja) se mete con la junta expuesta para que se pueda vendar fácilmente.

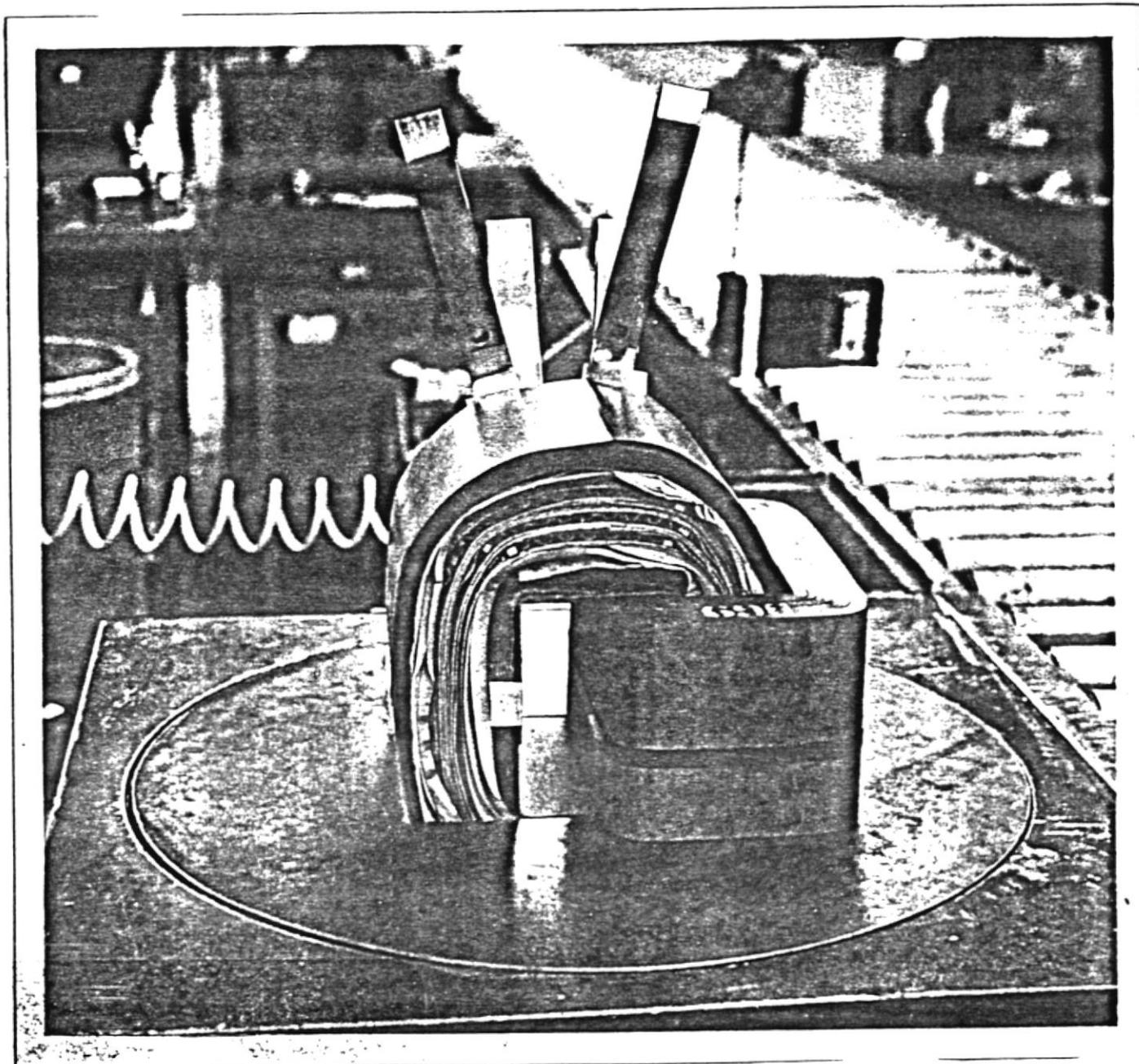


Figura i. Muestra el primer núcleo vendado y puesto. La bobina está lista para recibir el segundo núcleo...CUIDADO: Que la presión alrededor del núcleo no se haga demasiado fuerte al precintar. La presión puede aumentar el número de núcleos rotos.

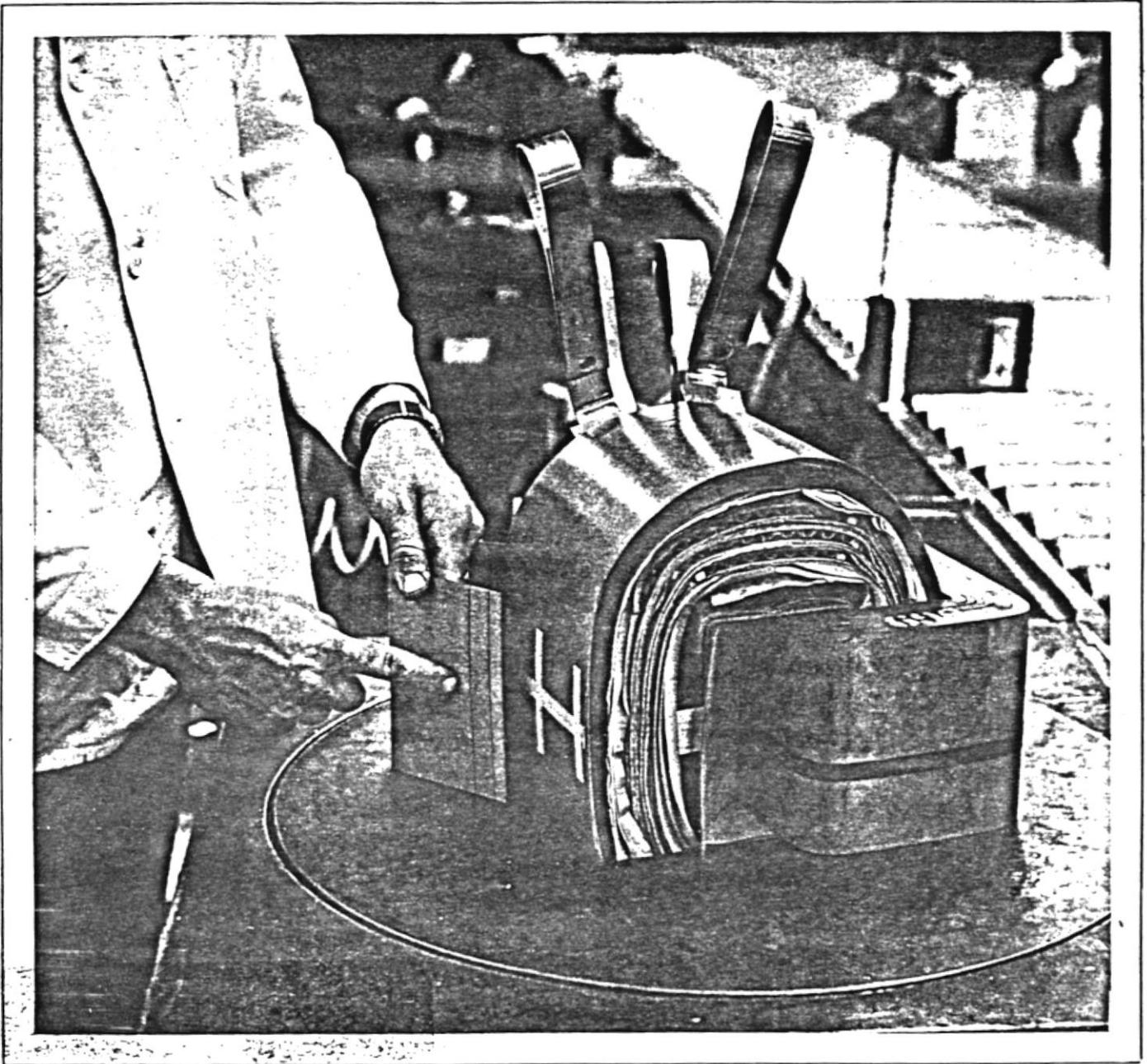


Figura j.- Muestra el comienzo del segundo núcleo. Se emplea el mismo proceder y método como el del primero.

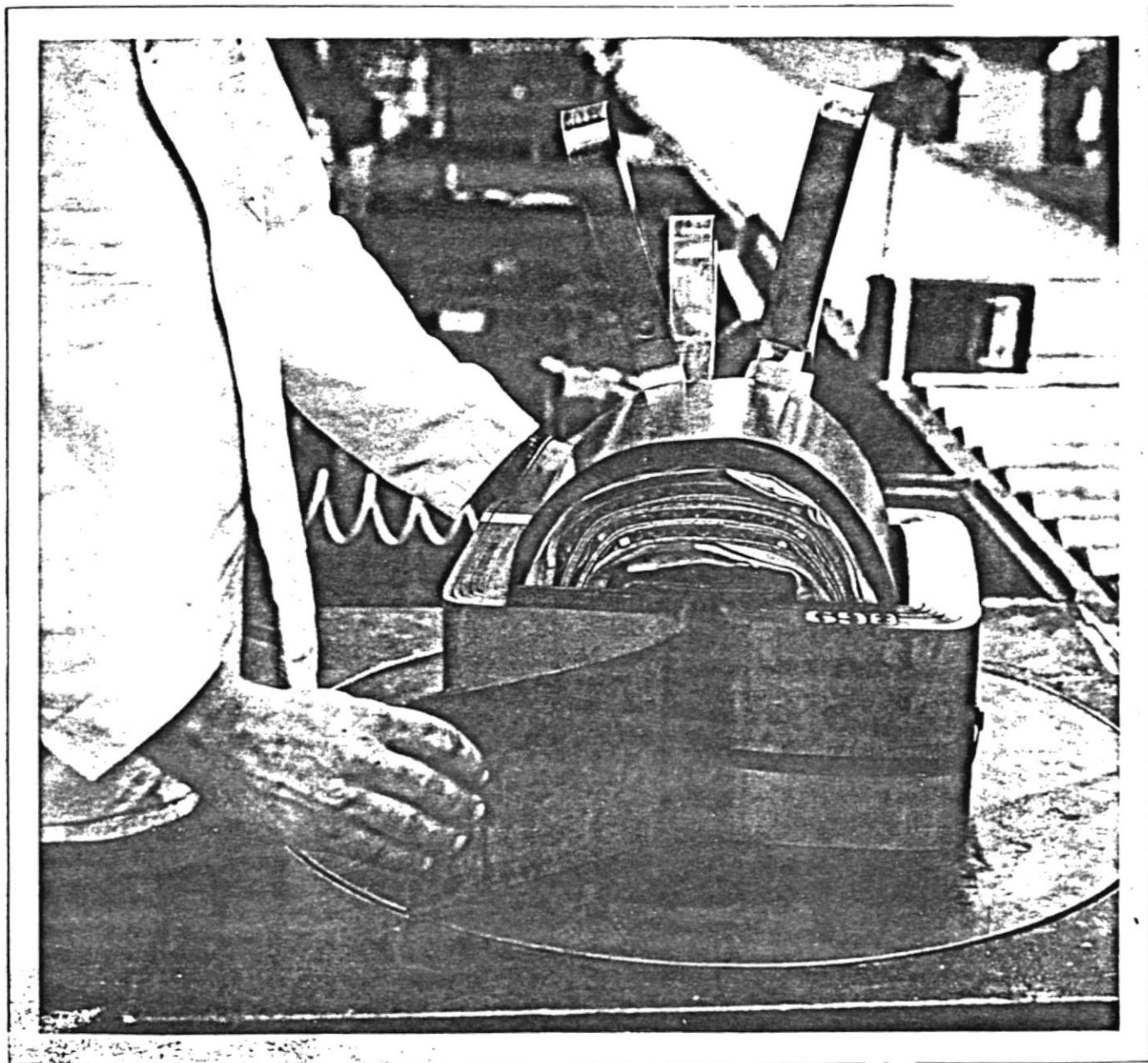


Figura k. A medida que se llena la abertura, puede que precisa de emplear un pedazo fino de acero semejante a una laminación para ayudar a colocar justamente las laminaciones interiores. En la figura k. el mordante está para quitarse del lado derecho, mientras que se colocan las juntas en la parte interior de la bobina.

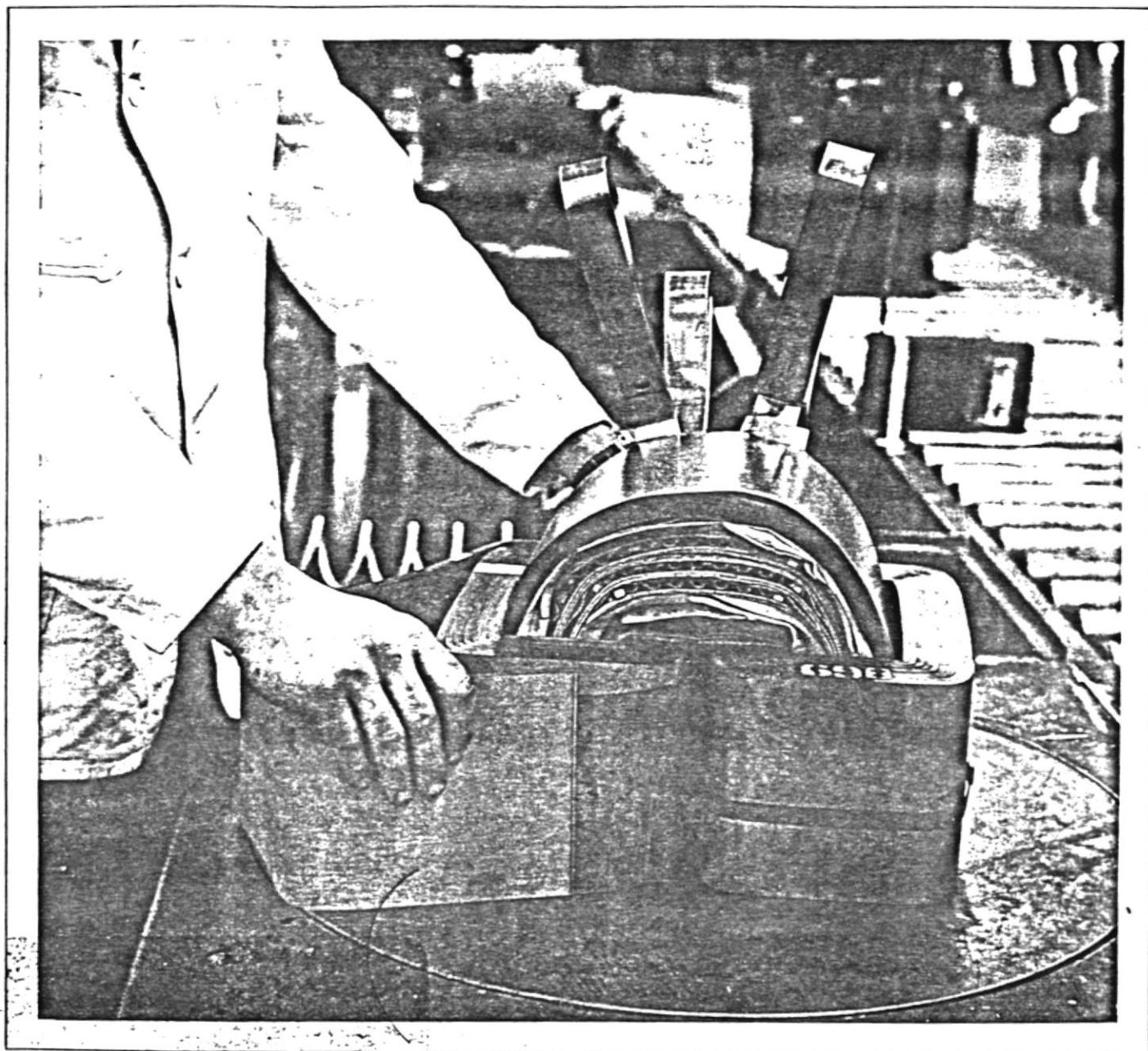


Figura 1. Muestra el mordante de acero en posición para dejar que se meta el conjunto de laminaciones por el lado derecho.

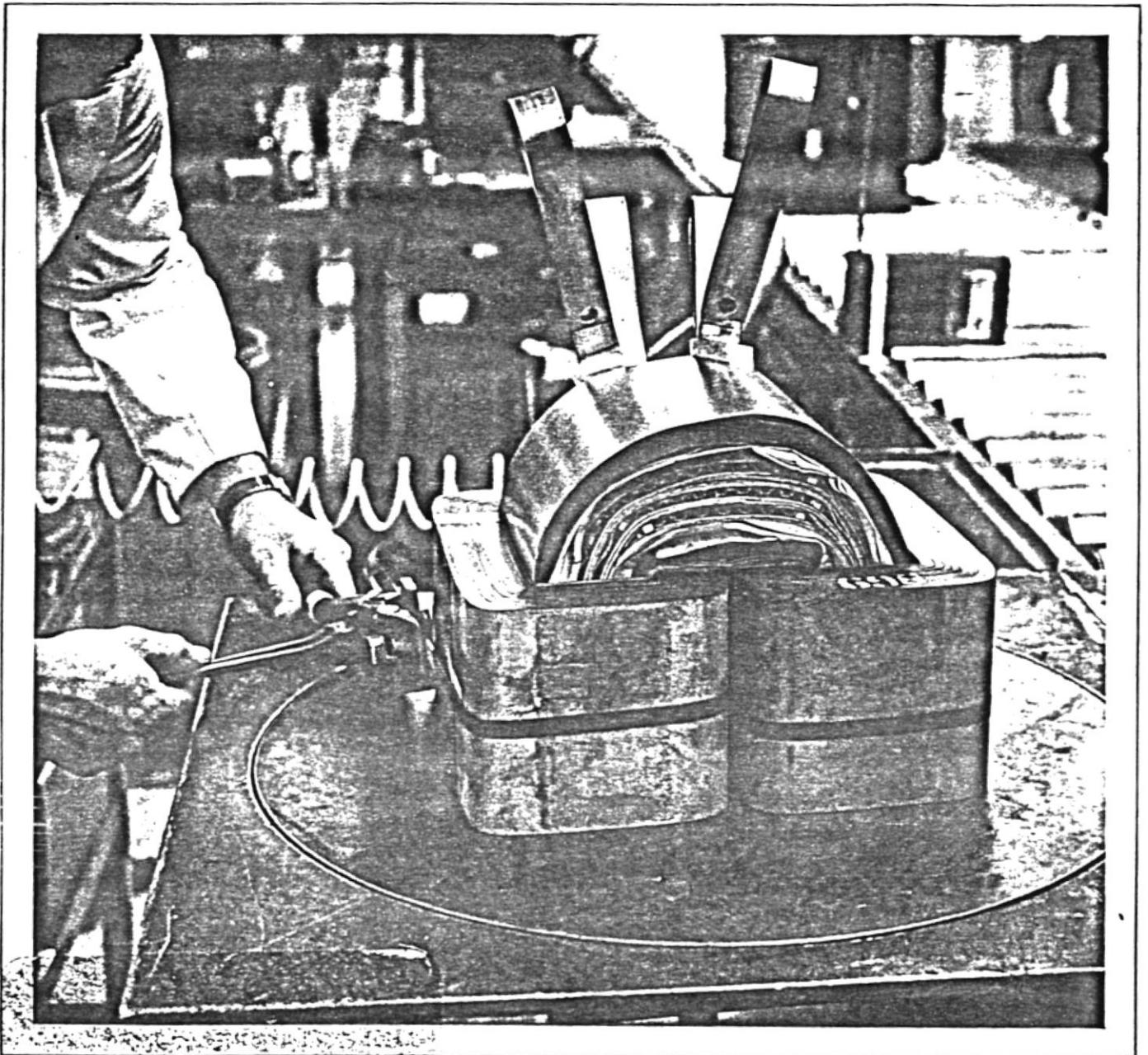


Figura m. Después que se coloque la laminación exterior, se mantienen las laminaciones por medio de precinto. Figura m.

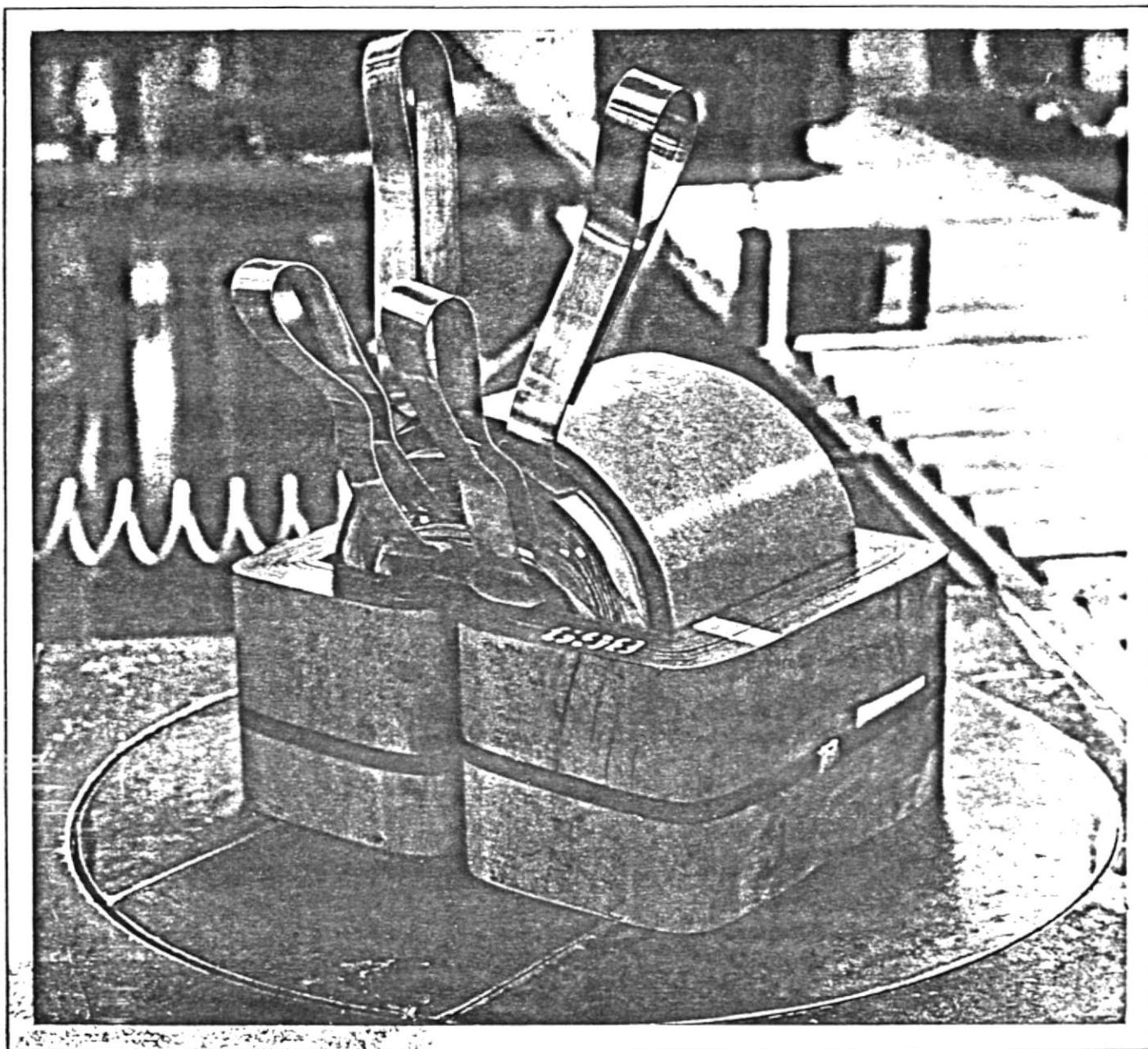


Figura n. Favor de notar que en la figura n la banda ancha marcada en las láminas está empleada para evitar la inversión de un conjunto de láminas. Tal inversión podría causar un mal ajuste y causar también bastantes dificultades en el montaje de los núcleos.

APENDICE A

Polinomio de interpolación de Lagrange

La forma del polinomio de interpolación de Lagrange está dada por:

$$p_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x) f(x_i), \quad (\text{A.1})$$

donde

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{(x - x_j)}{(x_i - x_j)} \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (\text{A.2})$$

Cada valor funcional  $f(x_i)$  incluido en el polinomio es multiplicado por un polinomio en  $x$  de grado  $n$ ,  $L_i(x)$ , [Ya que hay  $n$  factores  $(x - x_j)$ ].

La función  $f(x)$  es:

$$f(x) = p_n(x) + R_n(x), \quad (\text{A.3})$$

donde

$$R_n(x) = \left[ \prod_{i=0}^n (x - x_i) \right] \frac{f^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!} \quad (\xi) \text{ en } (x, x_0, \dots, x_n), \quad (\text{A.4})$$

o

$$R_n(x) = \left[ \prod_{i=0}^n (x-x_i) \right] f[x, x_n, x_{n-1}, \dots, x_0] \quad (\text{A.5})$$

La forma de Lagrange para  $p_n(x)$  puede ser derivada directamente a partir del polinomio de diferencias divididas de Newton de grado equivalente, escribiendo primeramente las diferencias divididas en la forma simétrica dada por:

$$f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_0] = \sum_{i=0}^n \frac{f(x_i)}{\prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n (x_i - x_j)} \quad \text{A.6}$$

Por ejemplo, consideremos el polinomio de diferencias divididas de segundo grado.

$$\begin{aligned} p_2(x) = & f[x_0] + (x-x_0) f[x_1, x_0] \\ & + (x-x_0)(x-x_1) f[x_2, x_1, x_0] \end{aligned} \quad \text{A.7}$$

Sustituyendo las formas simétricas equivalentes por las diferencias divididas resulta:

$$\begin{aligned} p_2(x) = & f(x_0) + (x-x_0) \frac{f(x_0)}{(x_0-x_1)} + (x-x_0) \frac{f(x_1)}{(x_1-x_0)} \\ & + \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} f(x_0) + \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} f(x_1) \\ & + \frac{(x_1-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)} f(x_2) \end{aligned} \quad (\text{A.8})$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(X-X_1)(X-X_2)}{(X_0-X_1)(X_0-X_2)} f(X_0) + \frac{(X-X_0)(X-X_2)}{(X_1-X_0)(X_1-X_2)} f(X_1) \\
 &+ \frac{(X-X_0)(X-X_1)}{(X_2-X_0)(X_2-X_1)} f(X_2)
 \end{aligned}
 \tag{A.9}$$

$$p_2(X) = \sum_{i=0}^2 \left[ \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^2 \frac{(X-X_j)}{(X_i-X_j)} \right] f(X_i) = \sum_{i=0}^2 L_i(X) f(X_i)
 \tag{A.10}$$

Las formulaciones de Lagrange de grado superior pueden ser derivadas de una manera análoga a partir del polinomio de diferencias divididas correspondientes. Un desarrollo alternativo un poco más simple es como sigue. Asuma que el polinomio de interpolación tiene la forma.

$$\begin{aligned}
 p_n(X) &= a_0(X-X_1)(X-X_2)\cdots(X-X_n) \\
 &+ a_1(X-X_0)(X-X_2)\cdots(X-X_n) \\
 &+ a_2(X-X_0)(X-X_1)\cdots(X-X_n) \\
 &+ a_i(X-X_0)(X-X_1) \\
 &\quad \cdots (X-X_{i-1})(X-X_{i+1})\cdots(X-X_n) \\
 &+ a_{n-1}(X-X_0)(X-X_1)\cdots(X-X_{n-2})(X-X_n) \\
 &+ a_n(X-X_0)(X-X_1)\cdots(X-X_{n-2})(X-X_{n-1}),
 \end{aligned}
 \tag{A.11}$$

donde los coeficientes  $a_0, a_1, \dots, a_n$  son determinados requiriendo que  $p_n(x_i) = f(x_i)$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ .

Examinando la ecuación (A.11) se deduce que esto solo puede ser si:

$$a_0 = \frac{f(x_0)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2) \dots (x_0 - x_n)}$$

$$a_1 = \frac{f(x_1)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2) \dots (x_1 - x_n)}$$

En general

$$a_i = \frac{f(x_i)}{(x_i - x_0)(x_i - x_1) \dots (x_i - x_{i-1})(x_i - x_{i+1}) \dots (x_i - x_n)} \quad (A.12)$$

En una forma condensada (A.11), con los coeficientes de (A.12) conduce a la forma de Lagrange de (A.1).

Note que la forma de Lagrange involucra solo los puntos de base  $x_i$  y los valores funcionales correspondientes  $f(x_i)$ . Las diferencias divididas de la fórmula fundamental de Newton (A.3) no necesitan ser calculadas del todo, cuando solamente una interpolación se va a realizar o la cantidad de cálculo requerido por las fórmulas de diferencias divididas y de Lagrange es aproximadamente equivalente. Por supuesto menos almacenamiento de Lagrange, ya que no hay necesidad de guardar la tabla de diferencias divididas.

Ejemplo:

Uso de la interpolación de Lagrange.-

Formulación del problema.-

Escriba una función denominada FLAGR que evalúa para el argumento de interpolación  $\bar{X}$  el polinomio de interpolación de Lagrange de grado  $d$  que pasa a través de los puntos  $(X_{\min}, Y_{\min})$ ,  $(X_{\min} + 1, Y_{\min} + 1)$ ,-----,  $(X_{\min}+d, Y_{\min}+d)$ .

Además, escriba un programa principal que lea los valores de datos  $N, X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_n, \bar{X}, d$  y  $\min$ ; y, después llame al programa FLAGR para evaluar el polinomio de interpolación apropiado y retorne el valor interpolante  $\bar{Y}(\bar{X})$ . Como datos de prueba use la información de la tabla 1.1 que relaciona el voltaje y la temperatura observados en una termocupla con juntas en frío a 32°F.

TABLA 1.1  
Datos de REferencia

voltaje (microvolts)	temperatura (°F)
0	32,0
300	122,4
500	176,0
1000	296,4
1500	405,7
1700	447,6
2000	509,0
2500	608,4
3000	704,7
3300	761,4
3500	799,0
4000	891,9
4500	983,0
5000	1072,6
5300	1125,7
5500	1160,8
5900	1230,3
6000	1247,5

Lea los valores tabulados para los trece puntos de pase escogidos  $X_1=0$ ,  $X_2=500$ ,  $X_3=1000$ ----,  $X_{13}=6000$ , y los valores funcionales correspondientes  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,-----,  $Y_{13}$ , donde  $Y_i = f(X_i)$ . Después llame al programa FLAGR para evaluar  $\bar{Y}$  ( $\bar{X}$ )

para los argumentos  $\bar{X} = 300, 1700, 2500, 3300, 5300$  y  $5900$ , con varios valores para  $d$  y  $\min$ . Compare estos resultados con los valores experimentales observados en la tabla 1.1

### Método de Solución

En términos de los parámetros del problema, la forma del polinomio de interpolación de Lagrange (A.1) es:

$$\bar{y}(\bar{X}) = \sum_{i=\min}^{\min+d} L_i(\bar{X}) Y_i \quad (\text{A.13})$$

donde:

$$L_i(\bar{X}) = \prod_{\substack{j=\min \\ j \neq i}}^{\min+d} \frac{(\bar{X}-X_j)}{(X_i-X_j)}, \quad (\text{A.14})$$

$$i = \min, \min + 1, \text{-----}, \min + d$$

El programa que sigue es una implementación directa de (A.13) y (A.14), excepto que algún cálculo (aproximadamente  $d^2$  multiplicaciones y  $d^2$  subtracciones a costa de  $d+1$  divisiones) son ahorradas escribiendo (A.14) en la forma:

$$L_i(\bar{X}) = \frac{C / (\bar{X}-X_i)}{\prod_{\substack{j=\min \\ j \neq i}}^{\min+d} (X_i-X_j)} \quad (\text{A.15})$$

$$i = \min, \min + 1, \text{-----}, \min + d, \bar{X} \neq X_i,$$

donde:

$$c = \prod_{j=\min}^{\min+d} (\bar{X}-X_j) \quad (\text{A.16})$$

La restricción en (A.15),  $\bar{X} \neq X_i$ , no causa ninguna dificultad, ya que si  $\bar{X} = X_i$  el interpolante  $\bar{Y}(\bar{X})$  se conoce que es  $Y_i$ , sin requerir ningún cálculo adicional.

#### Lista de las principales variables

Símbolo en el Programa	Definición
(Principal)	
I	Subíndice
IDEG	Grado, $d$ , del polinomio de interpolación.
MIN	Subíndice menor de los puntos bases para determinar el polinomio de interpolación.
N	Número de valores pares $(X_i, Y_i = f(X_i))$ .
X	Vector de puntos base, $X_i$
XARG	Argumento de interpolación, $\bar{X}$ .
Y	Vector de valores funcionales, $Y_i = f(X_i)$
YINTER	Valor interpolante, $\bar{Y}(\bar{X})$
(Función FLAGR)	
FACTOR	El factor $C$ (ver A.16)
J	Subíndice
MAX	Subíndice mayor de los puntos bases para determinar el polinomio de interpolación, $\min+d$ .

Lista de las principales variables

TERM	Una variable que asume_sucesivamente los valores $L_i(X)$ $Y_i$ .
YEST	Valor interpolante, $Y(\bar{X})$ .

Listado de los ProgramasPrograma Principal

```

C      Polinomio de Interpolación de Lagrange
      IMPLICIT REAL * 8 (A-H, 0 - Z)
      DIMENSION X (100), Y (100)
      READ (5,100) N, (X (I), I = 1,N)
      READ (5,101) (Y (I), I = 1,N)
      2 READ (5,102) X ARG, IDEG, MIN
      YINTER = FLAGR (X,Y,XARG, IDEG, MIN,N)
      WRITE (6,203) XARG, IDEG, MIN, YINTER
      GO TO 2

100 FORMAT (4X, I3/(15X, 5F10.4) )
101 FORMAT (15, 5F10.4)
102 FORMAT (7X, F10.4, 13X, I2, 12X, I2)
203 FORMAT (1H, F9.4, 18, I8, F12.4)

      END

```

Función FLAGR

```

      IMPLICIT REAL * 8 (A-H, 0, Z)
      REAL * 8 X, Y, XARG, FLAGR
      DIMENSION X(N), Y(N)
      FACTOR = 1.0

```

Listado de los Programas

```
MAX = MIN + IDE6
DO 2 J = MIN, MAX
IF (XARG. NE. X(J) ) GO TO 2
FLAGR = Y (J)
RETURN
2 FACTOR = FACTOR * (XARG- X (J))
YEST = 0
DO 5 I = MIN, MAX
TERM = Y (I)* FACTOR/(XARG- X(I) )
DO 4 I = MIN, MAX
4 IF (I. NE. J) TERM = TERM/(X(I)-X(J) )
5 YEST = YEST + TERM
FLAGR = YEST
RETURN
END
```

APENDICE B

## NUCLEOS DE FUERZA MONAFASICOS

(Grado 11-MIL-M4)

POWER CORES INC.

Mt. Vernon, Illinois

El desarrollo de un nuevo núcleo para transformadores por medio del Departamento de Ingeniería de la fábrica POWER-CORES hace que ésta presente un núcleo con pequeñas pérdidas y corriente de excitación reducida, además de fácil ensamblaje.

Las unidades POWER-CORES, son construídas de acero al silicio de grano orientado y de grado 11-MIL-M4, tratando siempre de obtener las mejores propiedades magnéticas.

A continuación se presentan las dimensiones de los diferentes núcleos construídos en esta fábrica.

ESPECIFICACION DE LAS DIMENSIONES

Número del núcleo	Peso Nominal en kilogramos	Dimensiones del núcleo (m.m)			
		HFN	E	AVN	HVN
224	5,91	76,2	25,40	38,10	117,48
231	4,09	76,2	20,32	34,93	107,95
246	7,50	79,38	28,58	60,33	120,65
350	8,64	79,38	29,36	55,58	142,88
234	9,55	82,55	31,75	61,93	127,00
239	9,09	82,55	31,75	50,80	127,00
301	10,00	85,73	34,14	50,80	120,65
370	10,91	85,73	34,93	60,33	123,83
306	15,45	95,25	37,31	57,15	171,45
308	15,91	95,25	37,31	63,50	171,45
302	11,36	101,60	33,35	47,63	119,08
304	13,64	101,60	37,31	50,80	120,65
356	16,14	104,78	34,93	50,80	190,50
214	26,82	114,30	44,45	53,98	222,25
235	13,18	114,30	28,58	53,98	165,10
310	18,64	127,00	37,31	44,45	152,40
311	19,09	127,00	37,31	57,15	146,05
314	22,27	136,53	37,31	66,68	158,75
395	22,27	136,53	38,10	58,75	165,10
241	15,68	142,88	28,58	57,15	152,40
397	39,09	142,88	47,63	82,55	222,25
320	31,36	152,40	42,06	73,03	184,15
324	42,27	152,40	51,21	73,03	203,20
330	65,45	171,45	53,98	57,15	330,20
377	47,27	171,45	50,80	76,20	196,85
327	54,55	177,80	50,80	82,55	234,95
331	70,00	177,80	57,15	79,38	285,75
332	74,09	190,50	57,15	76,20	292,10
360	76,82	190,50	57,15	85,73	292,10
335	122,73	203,20	69,85	85,73	365,15
380	90,00	203,20	69,85	82,55	336,55
398	190,00	228,60	76,20	95,25	501,65
414	286,36	228,60	101,60	66,68	584,20

APENDICE C

Dimensiones de Conductores esmaltados rectangulares de cobre que normalmente INATRA importa de Colombia de la fábrica - FADALTEC (Bogotá).

Sección transversal (mm <sup>2</sup> )	dimensiones (m.m)
7,37	1,29 X 5,83
8,23	3,5 X 2,4
10,4	1,29 X 8,25
14,76	2,05 X 7,35
16,93	2,59 X 6,54
18,59	2,30 X 8,25
20,94	2,59 X 8,25
23,50	2,59 X 9,27
23,50	2,91 X 8,25
26,35	3,26 X 8,25
42,11	6,5 X 6,61

Es conveniente anotar que los conductores anteriormente mencionados, son los únicos disponibles para los diseños de los transformadores con lo que al realizar la construcción se los une o alterna hasta tener el espesor o ancho requerido.

BIBLIOGRAFIA

1. Teoría, Cálculo y Construcción de Transformadores  
Juan Corrales Martin  
V Edición, 1969
2. Circuitos Magnéticos y Transformadores  
E.E. Staff del M.I.T  
1965
3. Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna  
Alexander S. Langsdorg  
II Edición  
II Reimpresión: 1971
4. Elementos de Diseño de Máquinas Eléctricas  
Alfred Still - Charles S. Siskind  
III Edición: 1968
5. Transformadores Eléctricos Industriales  
Reparación, Diseño y Construcción  
Pedro Camarena M.  
II Edición, 1974
6. Applied Numerical Methods  
Brice Carnahan  
H.A. Luther  
James O. Wilkes  
1967



A.F. 141502