



Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON

CONTROL DE CALIDAD Y PRUEBAS DURANTE EL
PROCESO DE FABRICACION DE TRANSFORMADORES

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a

EDUARDO REGUER BERTRAND

1 9 8 2



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

| | Pag. |
|---|------|
| <u>CAPITULO 1</u> | |
| <u>Generalidades</u> | 1 |
| | |
| <u>CAPITULO 11</u> | |
| <u>Control Sobre Materia Prima Principal</u> | 6 |
| Organigrama de Personal de Control de Calidad | 7 |
| Diagrama de Flujo de Aceptación o Rechazo de Materia Prima | 8 |
| Cobre | 9 |
| Hierro | 18 |
| Lámina Magnética | 27 |
| Pérdidas en los Núcleos Magnéticos | 36 |
| Aislamientos | 40 |
| Descripción de Materiales Aislantes utilizados en la fabricación de transformadores | 41 |
| Boquillas de Baja Tensión | 43 |
| Boquillas de Alta Tensión | 45 |
| Aceite Aislante | 48 |
| Accesorios | 54 |
| Fusible de Expulsión | 55 |
| Fusible Limitador de Corriente | 58 |
| Coordinación de Protecciones | 64 |
| | |
| <u>CAPITULO 111</u> | |
| <u>Control de Calidad durante el Proceso de Fabricación</u> | 73 |
| Diagrama de Procesos de Fabricación | 74 |
| Tanque | 75 |

| | Pag. |
|--|------|
| Proceso de Limpieza de Tanque | 79 |
| Pruebas de Fugas en Tanques | 81 |
| Proceso de Fabricación de Núcleo | 84 |
| Proceso de Devanado del Núcleo | 87 |
| Horneado de Núcleos | 88 |
| Pruebas de Núcleos Monofásicos | 91 |
| Proceso de Fabricación de Bobinas | 100 |
| Proceso de Armado (Ensamble Final) | 107 |
| Ensamble Núcleo Bobina | 108 |
| Secado | 109 |
| Pruebas Finales | 117 |
| Pruebas de Aislamiento | 118 |
| Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite | 119 |
| Prueba de Potencial Aplicado | 121 |
| Prueba de Impulso | 122 |
| Prueba de Relación de Transformación | 123 |
| Prueba de Excitación o Pérdidas en Vacío | 124 |
| Prueba de Pérdidas en los Devanados | 126 |
| Medición de Resistencias | 128 |
| Prueba de Temperatura | 129 |
| Eficiencia | 131 |
| Regulación | 132 |
| Pruebas de Accesorios | 133 |

Pag.

CAPITULO IV

Análisis de Costos

134

CAPITULO V

Conclusiones

146

CAPITULO I

GENERALIDADES

GENERALIDADES:

La industria eléctrica nacional atraviesa en la actualidad por una etapa de franco desarrollo; cada día nacen nuevas empresas y a su vez, la competencia de precio se hace más enconada. Subsistir y progresar en un mercado de estas características, exige la producción de transformadores de buena calidad a precios cada vez más bajos.

El avance tecnológico ha permitido el diseño de nuevos productos, los cuales exigen un alto grado de confiabilidad en su funcionamiento, por lo que tenemos la obligación de producir equipo con un nivel de calidad cada vez mejor.

Producir equipo de buena calidad al mínimo costo significa aprovechar al máximo los recursos de la producción, evitar los desperdicios de tiempo, de espacio, equipo y materiales, de lo cual se ocupan diversas técnicas de productividad, el control de calidad entre ellas.

La finalidad de este trabajo, es el de establecer los lineamientos necesarios para la implementación de los sistemas de control de calidad requeridos para la fabricación de transformadores, los cuales son alimentados por líneas subterráneas.

Los primeros intentos por implementar los sistemas de distribución subterránea durante la primera mitad del siglo, tropezaron con el alto costo que representaba solucionar eficazmente los problemas técnicos de instalación y operación; tales inversiones sólo se justificaron para alimentar centros urbanos con grandes densidades de carga.

Lo anterior trajo como consecuencia que los sistemas aéreos se desarrollaran, y debido al incremento tan grande de demanda eléctrica

trica, los sistemas se hicieron cada vez más complejos a tal grado que se presentaron los siguientes inconvenientes:

- a) Areas saturadas de: postes, cables, transformadores y equipo de protección que destruyen la estética de las áreas metropolitanas.
- b) Problemas de continuidad de servicio. En la distribución aérea, cerca del 70 % de sus fallas se deben a perturbaciones atmosféricas: lluvias, sismos, rayos, vientos, etc., así como accidentes por choques y colisiones, situaciones características de los grandes centros de población.
- c) Por último y seguramente el más importante, es el peligro latente de accidentes personales.

Durante las dos últimas décadas y con la ayuda del notable avance tecnológico logrado, se hizo necesario implementar los sistemas de distribución residenciales subterráneos.

El complemento necesario para estos sistemas requirió de un nuevo concepto de equipo de transformación eléctrica, sobre y bajo superficie que cumpliera con los requisitos de seguridad, espacio, versatilidad y aspecto estético de acuerdo con la funcionalidad de los modernos conjuntos residenciales y comerciales.

El concepto de estos sistemas también es aplicable en los centros de carga industriales, previéndose un gran futuro en este tipo de instalación.

Los modernos sistemas de distribución subterránea (DRS) han evolucionado principalmente debido a:

Materiales aislantes de gran calidad dieléctrica y más económicos.

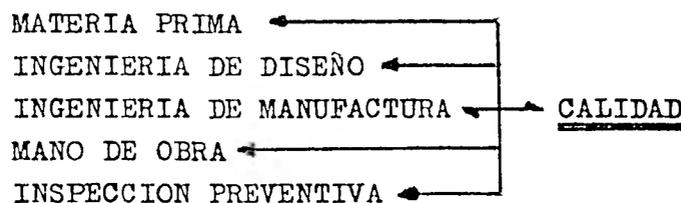
Elementos de conexión de frente muerto y premoldeado que eliminan los encintados voluminosos.

Nuevos conceptos de transformadores.

Nuevos tipos de protección y seccionalización.

Este tipo de sistema subterráneo como en el caso de los aéreos - también está expuesto a problemas de continuidad de servicio aunque su índice es muy bajo; cuando llega a haber fallas, se tiene en contra el tiempo para localizarlas, debido a que las excavaciones y preparación de cables producen interrupciones prolongadas del servicio, problemas que son superados con el sistema de distribución subterránea de operación radial o de anillo.

Como consecuencia de lo anterior el Departamento de Control de Calidad de cualquier empresa tiene la obligación de verificar al máximo la calidad del producto pero si analizamos los elementos de los que depende una buena calidad llegaremos a lo siguiente:



Materia Prima.- Es responsabilidad del Departamento de Compras - conseguir el material solicitado de la mejor calidad y a un costo adecuado seleccionando proveedores de acuerdo a estadísticas obtenidas del Departamento de Control de Calidad.

Ingeniería de Diseño.- Como uno de los responsables directos debe de pasar a Producción información clara y precisa para que el operador no tenga confusiones que puedan ocasionar reprocesos -- costosos.

Ingeniería de Manufactura.- Tiene la responsabilidad de proveer al Departamento de la herramienta adecuada y en óptimas condiciones de uso; estudiar e implementar métodos que faciliten mediante herramientas, fabricar el producto en el menor tiempo posible sin afectar las normas de calidad.

Mano de Obra.- Uno de los responsables directos en la calidad es el OPERARIO al que antes de darle la máquina donde tendrá que doblar, punzonar o devanar, etc., se le entrenará tomando en consideración un alto grado de seguridad y calidad, además de los siguientes puntos que deberá tomar en cuenta:

1. Importancia del trabajo que va a desarrollar.
2. Las partes de manejo de la máquina que va a operar.
3. La seguridad que debe conservar al desarrollar sus tareas.
4. La calidad en su trabajo como parte directa en la fabricación de un producto.

Después de esto el operario estará capacitado para detener un material defectuoso, o una máquina que funciona mal, es decir tendrá lo que se llama "Conciencia de Calidad". Algunas empresas debido al método clásico de la inspección, han desplazado la responsabilidad de calidad del operario al inspector, lo que resulta un grave error porque una buena calidad no depende de una buena inspección por parte de los inspectores, sino de un trabajo mancomunado entre Producción y Control de Calidad.

Inspección Preventiva.- El inspector es la persona encargada de hacer cumplir la calidad y sus principales responsabilidades son:

Checar.-

- a) La información de Ingeniería de Diseño que cumpla con las especificaciones del cliente.
- b) Calidad de la materia prima y dimensiones del material que se va a procesar.
- c) Chequeo de la primera pieza terminada.
- d) Hacer las pruebas requeridas de la primera pieza antes de pasar al siguiente proceso de fabricación e investigar en caso de falla el origen de la misma, reportando de inmediato a la parte del proceso afectada.
- e) Efectuar cambios en Ingeniería de Diseño, según datos de prueba obtenidos durante la inspección que cumplan con el inciso a).
- f) Verificar la buena utilización de la materia prima para evitar desperdicios innecesarios.

Control de Calidad se mide tomando en cuenta: Costos de fallas internas, las cuales se multiplican si se convierten en fallas externas.

Por lo tanto, sólo se tendrá un buen Departamento de Control de Calidad cuando los costos de reprocesos y reparaciones estén dentro de un porcentaje adecuado sobre Ventas Facturadas.

C A P I T U L O I I

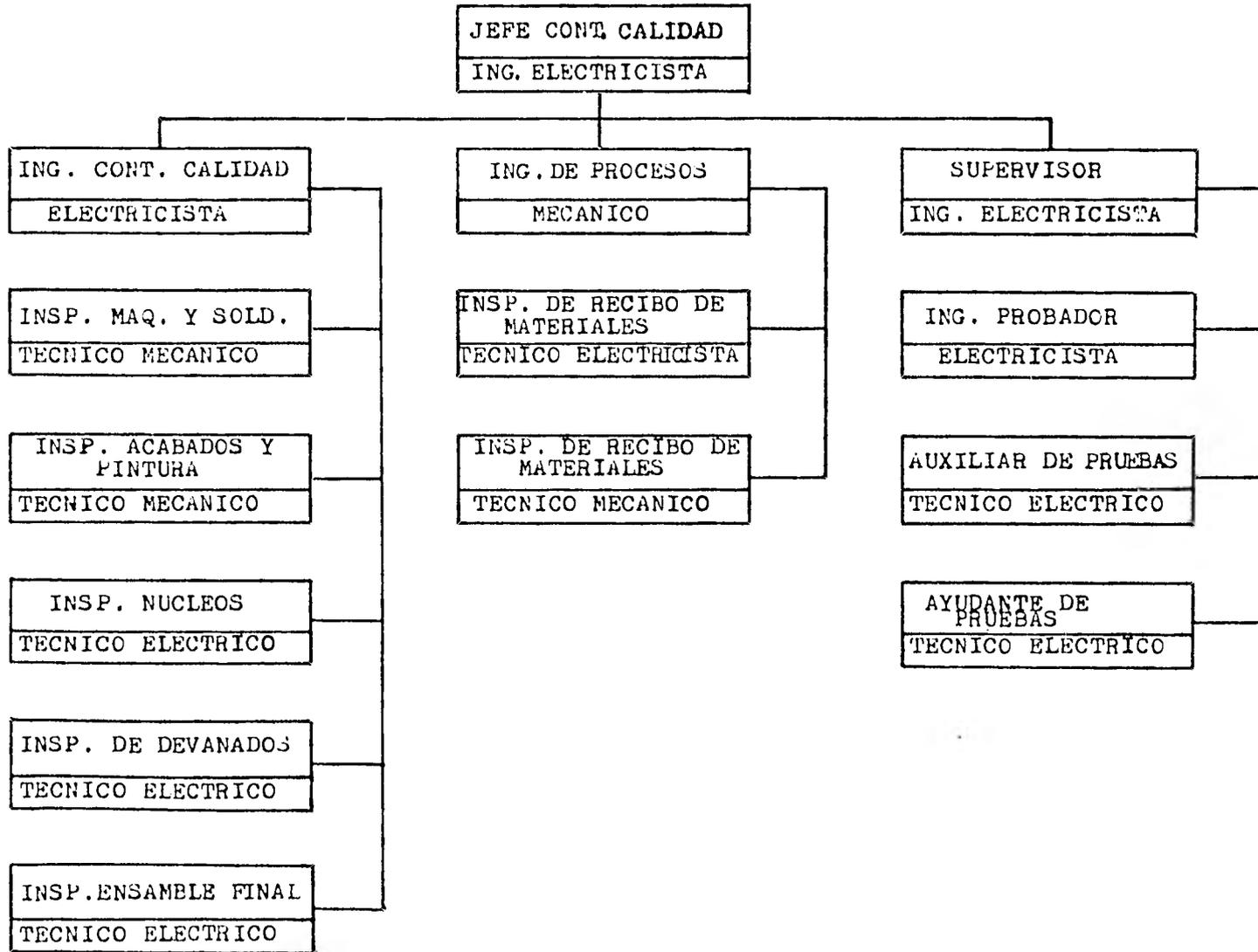
C O N T R O L S O B R E M A T E R I A

P R I M A P R I N C I P A L

Antes de iniciar el presente capítulo, es necesario presentar un Organigrama del Personal que integra el Departamento de Control de Calidad, tomando en cuenta las diferentes áreas de inspección que intervienen en la manufactura del transformador.

Asimismo considerando el Area de inspección de Recibo de Materiales como una de las más importantes, se muestra un Diagrama de -- Flujo para aceptación o rechazo del mismo.

ORGANIGRAMA CONTROL DE CALIDAD



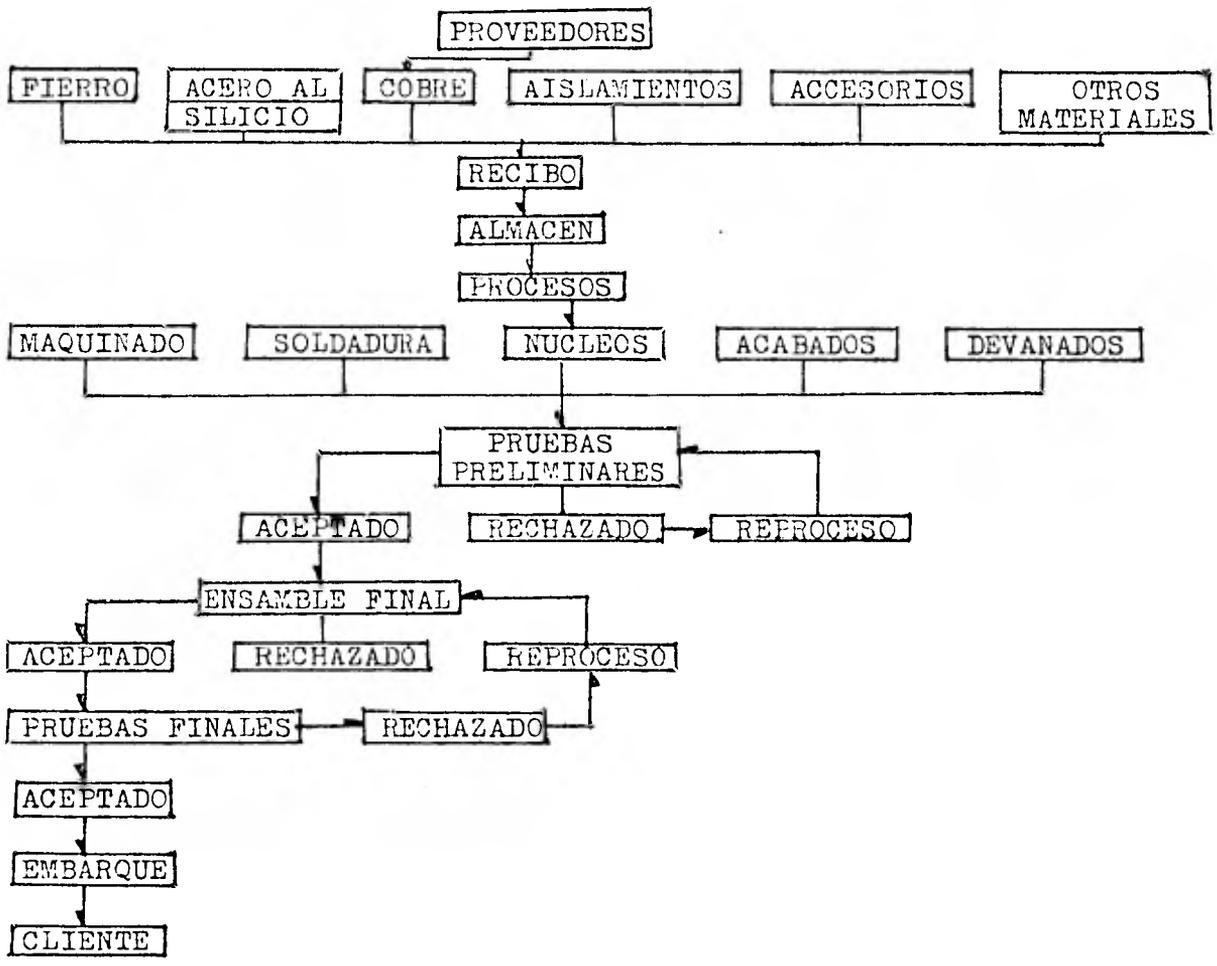


DIAGRAMA DE FLUJO DE MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION DE TRANSFORMADORES.

C O B R E :

Utilizado en la fabricación de Transformadores.- Aunque el cobre y sus aleaciones se usan desde hace miles de años, existen relativamente pocas recopilaciones sistemáticas y exhaustivas de sus -- propiedades físicas, mecánicas y otras, que tengan los datos aceptados internacionalmente, por el Consejo Internacional para el -- Desarrollo del Cobre (CIDECC).

Se le encuentra en la naturaleza en forma de sulfuros y óxidos, -- mediante la fundición y refinación de estos minerales, es como se obtiene.

Debido a su alta Conductividad y ductibilidad, el cobre es el material conductor más usado en la fabricación de aparatos eléctricos por la facilidad con que se puede trabajar, pues tiene suficiente resistencia mecánica y alta resistencia a la corrosión y a la fatiga.

El cobre adecuado para utilizarse como conductor magneto deberá -- ser uniforme, refinado electrolíticamente y debidamente estirado en frío.

Propiedades físicas del Cobre.- Cuando el cobre se encuentra puro y recocido, tiene las siguientes características y propiedades: --

Peso atómico = 63.57

Número atómico = 29

Peso específico (20°C) = 8.89 g/cm³

Punto de fusión = 1083°C

Punto de ebullición = 2310°C

Calor específico (18 a 100°C) = 0.093 $\frac{\text{Cal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$

Calor latente de fusión = 43.3 Cal/Kg.

Coefficiente de dilatación lineal = $0.000017 \text{ X } ^\circ\text{C}$.

Resistividad eléctrica a 20°C = $17.241 \text{ OHM MM}^2/\text{KM}$

Coefficiente de Resistividad por:

Temperatura a 20°C = $0.00393 \text{ X } ^\circ\text{C}$.

Conductividad térmica para conductores de cobre suave y recocido = 98.16 %.

El alambre debe de satisfacer las especificaciones internacional y nacionales; de las especificaciones internacionales más conocidas está la "B-3 ASTM (American Society for Testing Materials)".

Entre las pruebas principales que deben efectuarse, se tiene:

Dimensiones y variaciones permisibles para diámetros de alambres menores de $0.0100''$. La variación permisible del diámetro especificado, no será mayor de $\pm 0.0001''$.

En diámetros mayores, el alambre no diferirá del diámetro nominal en más de $\pm 1\%$ redondeado al diezmilésimo de pulgada más cercano.

Acabado.- El alambre estará libre de toda raspadura, escoria o cualquier otra imperfección superficial.

Resistividad.- La resistividad eléctrica a la temperatura de 20°C (68°F) no será mayor de $0.017241 \text{ OHM (metro, mm}^2\text{)}$.

Otras pruebas tales como carga a la ruptura y elongación, se hacen después de aislado el alambre ya que la suavidad del mismo puede variar en el proceso. El aislamiento en soleras de cobre se puede

hacer mediante barnices aislantes, papel aislante y en casos donde se requieran altas temperaturas con cinta de vidrio para soportar 150°C. Para las soleras aisladas con papel y la tensión de perforación en el aislamiento después de secado por 15' a 105 °C dejado enfriar a temperatura ambiente y tomando dos muestras sumergidas en aceite para transformador, tendrá una resistencia eléctrica según especificaciones General Electric:

| <u>GRUPO</u> | <u>VOLTS MINIMOS DE PERFORACION</u> | <u>DESCRIPCION DEL AISLAMIENTO</u> |
|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 400 | Simple capa papel S.C.P. |
| 2 | 740 | Doble capa papel D.C.P. |
| 3 | 1100 | Triple capa papel T.C.P. |
| 4 | 1470 | Cuádruple capa papel C.C.P. |
| 5 | 1800 | Quíntuple capa papel Q.C.P. |

Antes de referirnos a las siguientes pruebas, cabe aclarar que éstas se refieren a formanel que es el tipo de acabado que interesa para este estudio. Por la forma en que se mencionarán, debe entenderse lo propio para la solera, es decir, los objetivos que se buscan en las pruebas, no varían en forma intrínseca entre el alambre redondo y la solera.

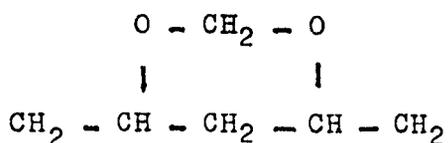
Formanel.-- Es el nombre comercial que se dá al alambre Magneto Aislado con esmalte sintético formvar y se ajusta a las Normas NEMA Y AIEE.

Los aislamientos de esmaltes oleorresinosos se usarán durante muchos años en comparación con los aislamientos de algodón y papel, por considerar el factor de espacio y excelentes propiedades eléctricas.

tricas; sin embargo, las propiedades mecánicas de estos aislantes eran deficientes sobre todo en lo que respecta a su elasticidad, dureza y resistencia al maltrato.

Se han hecho bastantes estudios buscando la manera de mejorar estas propiedades, lográndose ciertas mejorías. Sin embargo, pronto se encontró que había un límite natural a la superación de las -- propiedades mecánicas de los esmaltes oleorresinosos. Fué entonces cuando se iniciaron investigaciones en el campo de los esmaltes sintéticos y antes de la última guerra, se descubrió en los -- Estados Unidos el esmalte que hoy en día se conoce con el nombre de Formvar.

El formvar es una mezcla de resinas vinil-acetal cuya construcción molecular es:



Con resinas fenólicas y naturales como modificadores; la carga es tructura molecular del acetal de vinilo polimerizado le dá al esmalte características elásticas excelentes, mientras que la adi- ción de las otras resinas sirve para corregir el pequeño grado de termoplacidad del acetal y para dar una buena base a la película de esmalte durante el período de cocido previniéndolo así de cual quier agrietamiento o ruptura.

Según la clasificación por temperatura del AIEE, el formvar es un material Clase "A" capaz de soportar una temperatura máxima de -- 105°C que corresponde a un aumento de 65°C sobre un ambiente de 40°C, estando impregnado con un barniz adecuado.

Se fabrican alambres formanel con diversos espesores de la película aislante, llamándose sencillo, doble y triple, inclusive otro tipo con espesor más grueso, designado como cuádruple, no siendo muy común el uso de éste.

Es necesario hacer notar que cuando se dice Formanel sencillo, no se implica que se lleve una sola capa aislante, en efecto, el aislamiento sencillo se obtiene mediante la aplicación sucesiva de varias capas de esmalte, lo cual se hace con el objeto de controlar con mayor precisión el espesor de la película y de reducir la posibilidad de fallas eléctricas.

Asimismo se controla mejor la uniformidad de la película, asegurando la dureza mecánica del aislamiento. De igual manera el decir Formanel Doble, no implica que lleve dos capas de esmalte, si no que su espesor aislante es aproximadamente el doble del espesor del Formanel Sencillo.

Los calibres de formanel de fabricación normal son desde el número 6 AWG al 46 AWG (American Wire Gage).

Pruebas.- Los alambres magneto deben cumplir con todos los requisitos establecidos por las Normas NEMA (National Electrical Manufacturers Association). Entre las principales pruebas a que se somete el alambre formanel se tiene:

Comprobación de Dimensiones.- Mediante el uso de micrómetros de precisión se prueba que tanto el conductor de cobre como la película de Formvar estén dentro de los límites dimensionales especificados.

Flexibilidad y adherencia.- Los alambres de calibres del 8 al 29 AWG, no deben presentar grietas o rupturas en la película de formvar después de haber sido enrollados 10 veces alrededor de su propio diámetro.

Los alambres del 30 al 36 AWG después de haberse elongado un 25 % (o hasta la elongación de ruptura del cobre si ésta es menor de - 25%), deben soportar el ser enrollados 10 veces alrededor de un mandril de 3 veces el diámetro del alambre desnudo sin que la película aislante presente grietas o rupturas.

Los tamaños 14 a 40 AWG también se prueban rompiendo el alambre de un tirón, comprobando que no existan grietas o rupturas de la película aislante.

Continuidad.- Al alambre Formanel se le prueba continuidad de la película aislante haciendo pasar treinta metros a la vez a través de un baño de mercurio de una pulgada a una velocidad de 30 mts - por minuto. El circuito de prueba estará de tal manera calibrado que el indicador de falla actuará cuando la resistencia entre el alambre y el mercurio sea menor de 5000 OHMS, el voltaje aplicado será de 75 volts para alambres de calibres 25 a 29 AWG; de 60 --- volts para calibres de 30 a 34 AWG y de 30 volts para calibres de 35 a 40 AWG. El número de fallas máximo en 30 metros de alambre, no deberá de exceder de 15 para S.F., 10 para D.F. y 5 para T.F.

Choque térmico.- Después de mantener las muestras de alambre formanel a una temperatura de 125^oC durante una hora, no se deben -- presentar grietas o rupturas.

Solubilidad.- Después de recocer cinco muestras de alambre Formanel, a 125^oC y durante 10 minutos, deben sumergirse sin doblarse en los siguientes líquidos:

Petróleo Nafta
Toluol Comercial grado 3
Alcohol Etilico Desnaturalizado
Acido Sulfúrico al 5%
Hidróxido de Potasio al 1%

Después de la inmersión, la película no deberá estar tan suave como para removerla al frotarla con un pedazo de felpa.

Abrasión o Raspado.- Esta prueba consiste en raspar longitudinalmente el alambre sobre la película de formvar con una aguja de acero No. 11 sobre la cual se aplica un peso que varía entre 660 g para Tipo S.F. alambre 11 AWG, 210 g para S.F. 30 AWG, 920 g para D.F. 11 AWG y 300 g para D.F. 30 AWG.

El promedio de raspaduras que soporta el alambre antes de que se rompa la película no debe ser menor de 30 y en cualesquiera de -- las pruebas por separado debe resistir 15 raspaduras como mínimo.

Elongación.- La elongación mínima que soportará el alambre magneto antes de romperse debe cumplir con lo siguiente:

25% de elongación hasta el calibre 22 AWG

15% de elongación hasta el calibre 40 AWG

En muestras de 25 centímetros.

Prueba Dieléctrica.- Después de haber sido torcidas dos muestras del alambre magneto en una longitud de 12 cm. con la tensión y número de vueltas especificadas (tensión entre 6.8 Kg para el alambre No. 11 y 14 gr. para el alambre No. 40, número de vueltas entre 3 para alambre No.11), se aplicará una corriente sinusoidal de 50 ciclos entre los dos extremos del alambre. El voltaje se elevará gradualmente desde cero hasta que ocurra el rompimiento de la película del formvar. El voltaje de ruptura no deberá ser menor del especificado.

| VOLTS | TIPO | CALIBRE |
|-------|------|---------|
| 2250 | S.F. | 11 |
| 6750 | T.F. | 11 |
| 300 | S.F. | 40 |
| 1350 | T.F. | 40 |

Envejecimiento.- Un alambre que no haya sido doblado se calentará en una estufa a 125°C aproximadamente durante 167 hrs. Después se enrollará 10 veces alrededor de un mandril de 3 veces su diámetro sin que la película de formvar presente grietas o rupturas.

Análisis de Grumo.- Por medio del microscopio debe analizarse visualmente muestras de alambre y solera. Si se llegara a encontrar grumo en el esmalte, deberá definirse si éste, es burbuja de gas o es relleno del mismo esmalte; en el primer caso y en proporciones críticas será causa de rechazo y en el segundo caso no representará peligro en el funcionamiento del alambre.

Resorteo (Spring Back).- Cuando un alambre magneto se destina para ser devanado, la prueba del resorteo reviste capital importancia, ya que del resultado de la misma depende la facilidad, el tiempo y la calidad del trabajo con que un operario pueda desempeñar su trabajo.

De acuerdo a las normas NEMA para alambre esmaltado la prueba de resorteo es empleada para calibres del 14 al 30 AWG.

Procedimiento.- Una muestra de alambre esmaltado deberá ser enrollado tres vueltas en un mandril de diámetro de acuerdo a los valores siguientes

| AWG | | DIAMETRO EN PULG. |
|-----|----|-------------------|
| DE | A | DEL MANDRIL. |
| 14 | 20 | 3 1/4 |
| 21 | 24 | 1 7/8 |
| 25 | 26 | 1 7/8 |
| 27 | 30 | 3/4 |

El mandril deberá asegurarse en posición tal que el barreno para asegurar el alambre está en posición vertical que corresponda con el cero en el indicador, el alambre por probar, deberá removerse cuidadosamente del carrete, de modo que el alambre no sea sujetado a flexiones o tensiones adicionales y deberá enrollarse sobre el mandril de la misma manera que el enrollado original. El alambre se devanará girando el mandril en sentido contrario al de las manecillas del reloj, el número de vueltas especificado.

Se hará una marca con crayón, lápiz o tinta en la última vuelta o puesta a la marca cero en el indicador. El alambre se mantendrá - en su lugar con la mano izquierda sobre el mandril y el peso será removido, el alambre se cortará, dejando 10 a 15 mts. de alambre aproximadamente, de la marca previamente hecha en la última vuelta, y este extremo se doblará en posición vertical.

Poniendo un lápiz a la izquierda de este dobléz, se permitirá que las espiras de alambre se desenrollen lentamente, sin forzamiento.

Si se permite que el alambre resorte bruscamente se obtendrán resultados erróneos.

Después de mencionar las pruebas a las que son sometidos los conductores usados en la fabricación de transformadores, se podrá te

ner una idea del control de calidad establecido en la fábrica de alambre. General Electric de México actualmente cuenta con su propia fábrica, contándose también con Conductores Monterrey y Condu mex, los cuales proveen de conductores especiales a GESAMEX y a la industria en general

H I E R R O :

Se le encuentra en estado natural (minas) en forma de óxido junto con oxígeno, fósforo, azufre, silicio y otras impurezas.

Calidad del mineral por el 1% del contenido de hierro:

- | | | |
|---------------|---|--|
| Menos del 25% | - | No comercial por el alto costo que requiere su concentración. |
| 26 al 40% | - | Requiere concentración que es costeable. |
| 41 al 65% | - | Calidad ideal comercial que no requiere <u>con</u> centración. |

Triturado.- Es la acción de quebrar el mineral en proporciones de fácil manejo y facilidad de los procesos siguientes:

Hierro Lingote.- Actualmente existen dos grandes procesos para ob tenerlo en esta presentación; el tradicional altos hornos y el último conocido hasta ahora de reducción directa.

Altos Hornos. Los cuales son cargados con mineral mezclado con piedra caliza, como fundente, y con cualquier carbón de piedra, co-- que o atrancita como combustible; la aleación resultante se cono-- ce como hierro lingote, hierro colado o arrabio, con una composi-- ción de 93% de hierro puro, 3-5% de carbono, 2-4% silicio, fósfo-- ro, azufre, etc.

Reducción Directa.- Como su nombre lo indica es un proceso de reducción directa por medio de reactores hasta la obtención de hierro que por su proceso y condiciones físicas es llamado hierro esponja.

Acero.- Este primer hierro, es usado en las fundiciones o áreas de aceración para la obtención de hierro fundido, que por medio de una simple refusión en un horno de cubilote sin sensible cambio en su composición química. Partiendo de este principio en el momento que el hierro es líquido es vertida una cantidad de fundición espeular (spegeleisen) o de fierro manganeso en forma líquida, para dar a la fundición la cantidad deseada de carbón manganeso, que bajo estas bases ya es posible llamarle acero, puesto que es el elemento que ejerce mayor influencia " el carbón".

Tipos de Acero.- De lo antes mencionado, dicha fundición es vaciada a lingoteras y de acuerdo al tipo de acero requerido, son laminados en tochos, en palanquillas y railes sin calentamiento inicial, pero con períodos en pozos de calor. Durante el período de solidificación, todos los aceros experimentan cambios en su composición química y por lo tanto se pueden clasificar de la siguiente manera:

Acero Calmado.-

- a) Ligera evolución de gases
- b) Propiedades químicas y composición química casi uniformes.

Acero Efervescente.-

Mucha evolución de gases. Cambios en su composición y propiedades. Referencia (centro, medio, caras exteriores).

Aceros Semi-Efervescentes y Semi-Calmados.- Partiendo de las bases anteriores, éstos son los intermedios; a partir de esto, todo material cuenta ya con su composición química requerida de acuerdo a lo deseado, por lo que también forma parte de una clasificación numérica correspondiente.

COMPOSICION QUIMICA

| | | CARBONO | MANGANESO | FOSFORO | AZUFRE |
|-------|------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| | | C | Mn | P | S |
| S A E | 1008 | 0.10 MAX | 0.25 - 0.50 | 0.040 MAX | 0.050 MAX |
| | | 0.08-0.13 | 0.30 - 0.60 | 0.040 MAX | 0.050 MAX |

ELEMENTOS COMUNES DE LOS ELEMENTOS :

Carbono.- Principal elemento que constituye el acero, dándonos fuerza a la tensión, dureza y resistencia a la abrasión. Al mismo tiempo que rebaja la ductibilidad y maquinabilidad.

Manganeso.- Es un desoxidante y desgasificador que reacciona con el azufre, dando con ésto un mejoramiento a la forjabilidad e incrementa la resistencia a la tensión, el endurecimiento, decrece la escala de tendencia a la distorsión (mayor rigidez) y aumenta la relación carbón penetración.

Fósforo.- Incrementa la resistencia y mejora la maquinabilidad.

Azufre.- Incrementa maquinabilidad, pero absorbe bastante manganeso y produce fragilidad al calentamiento, asimismo decrece la soldabilidad.

De acuerdo a los antecedentes anteriores, los materiales antes mencionados son interpretados como sigue:

| | | | | | |
|--|-------------------|---|---|---|---------------|
| | S | A | E | | |
| | 1 | 0 | 0 | 8 | ----- 1 0 1 0 |
| | <u> </u> | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |

Primer par dígito (1) Acero al carbón

Segundo dígito (0) Sin elemento aleable predominante

Tercer y cuarto dígito - % Contenido al carbón

CLASIFICACION NUMERICA DE LOS ACEROS:

Para ser posible dar la especificación de un material requerido, de acuerdo a " Society of Automotive Engineering Inc. " y " American Iron and Steel Institute," fue establecido un sistema de índice numeral como sigue:

X X X X X X X X
S I G L A S - D I G I T O S

Dígito (1).- Clase a la que pertenece el acero

Dígito (2).- El % aproximado del elemento aleable predominante

Dígito (3) y (4).- Contenido medio de carbón

Siglas S A E ./-Representativo a los análisis de esta sociedad

Siglas A I S I ./-Estas son referidas siempre pero nunca representadas y en sustitución a ésta, siempre se indica con una letra.

REDUCCION DE LINGOTES:

A partir de este punto del proceso, todo lo relacionado con éste, - estará encaminado a nuestro fin, que es la lámina en hojas roladas en frío.

Esta reducción se lleva a cabo en molinos calientes. El lingote a -- procesar es elevado a una temperatura tal (Hornos de Fosa) que proporcione las propiedades plásticas necesarias para su laminación -- por la acción repetida de molinos de desbaste tomando la forma sucesiva de planchón, placa y rollos de lámina.

DECAPADO :

Es la acción de liberar la capa de óxido que se forma en la superficie, debido al rolado en los molinos calientes, y es llevada a cabo por descascaradores mecánicos, para continuar a los tanques de limpiadores líquidos a base de soluciones de ácido sulfúrico a diferenci

tes concentraciones y temperaturas, para terminar en enjuagues y se cados que completan este paso. A partir de este punto, este mate--- rial es surtido comercialmente como lámina rolada en caliente ----- (H.R.S.).

MOLINOS FRIOS :

Son aquellos en los que a base de tensiones y presiones controladas se efectua la reducción en frío y del control y exactitud de esta operación, depende la exactitud del calibre requerido. Debido a las presiones en esta operación, existe razonable generación de calor y para evitar ésto, es bañada la zona de trabajo, con soluciones acei-to sas que al tiempo que actuan como refrigerantes hacen la función de lubricar.

LIMPIEZA DE LA LAMINA:

En esta línea, es lavado el material, para eliminar los residuos a-cei tosos de la operación anterior.

Este lavado se hace en forma continua a base de soluciones detergente salcalinas controladas, evitando con ésto carbonizaciones en el = horno de recocido.

RECOCIDO:

Es un tratamiento térmico, en el cual los rollos de lámina son some tidos a una elevación gradual de temperatura hasta el punto donde - se regenera su estructura cristalina uniforme, asimismo readquiere sus propiedades de ductibilidad, que fueron disminuidas en los molino s fríos.

MOLINOS DE TEMPLE (EN FRIO):

Esta parte del proceso reviste una vital importancia, ya que aquí -

son fijadas las propiedades específicas de la lámina que mediante la aplicación de presiones y ligeras tensiones son dadas las durezas requeridas, para el uso a que se destine. Aquí también se fija el acabado superficial del material mate o brillante.

Salvo especificaciones muy especiales, estos materiales son obtenidos en los siguientes rangos comunes.

ESPECIFICACIONES DE DUREZA

(Para lámina bajo carbón laminada en frío)

| <u>Grado de Dureza</u> | <u>Dureza Rockwell - B</u> |
|------------------------|----------------------------|
| 1 | 85 a 96 |
| 2 | 75 a 85 |
| 3 | 64 a 75 |
| 4 | 52 a 64 |
| 5 | 38 a 52 |

DUREZA ROCKWELL - "B" :

Este tipo de dureza se recomienda para materiales de dureza media, y para su medición deberá ser considerada la siguiente norma:

Penetrador de bola de 1.587 mm
Carga de 100 Kg

No. de Dureza = $\frac{\text{Peso sobre bola penetrante}}{\text{Sup. de la deformación en milímetros cuadrados}}$

PROPIEDADES MECANICAS :

| GRADO DE DUREZA | RESISTENCIA MAX. A LA TENSION | % MIN. DE ALARGAMIENTO PROBLEMAS 50.8 mm (2") |
|-----------------|----------------------------------|--|
| 1 | 5620 | 1 |
| 2 | 4500 | 4 |
| 3 | 3800 | 13 |
| 4 | 3460 | 20 |
| 5 | 3100 | 33 |

COEFICIENTE TERMICO DE EXPANSION LINEAL :

| RANGOS °C | COEFICIENTE $\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ |
|-----------|--|
| - | |
| 0 - 100 | 12.2 |
| 0 - 200 | 13.0 |
| 0 - 300 | 13.5 |
| 0 - 700 | 13.9 |
| 0 - 500 | 14.3 |
| 0 - 600 | 14.7 |
| 0 - 700 | 15.0 |

TEMPERATURAS DE TRATAMIENTO:

Laminado ----- 1000 ----- 1350 * °C
 Normalizado ----- 1650 ----- 1750 °C

* Después de trabajada en frío.

CONDUCTIVIDAD TERMICA (°C)

Cal seg⁻¹ cm⁻¹ °C⁻¹

| | |
|------|-------|
| 0 | 0.142 |
| 100 | 0.138 |
| 200 | 0.127 |
| 300 | 0.118 |
| 400 | 0.109 |
| 500 | 0.098 |
| 600 | 0.088 |
| 700 | 0.079 |
| 800 | 0.068 |
| 1000 | 0.066 |
| 1200 | 0.071 |

PROPIEDADES FISICAS :

Densidad ----- 0.284 Lb / in³

RESISTIVIDAD ELECTRICA:

| TEMPERATURA (°C) | OHM CM x 10 ⁻⁶ | |
|------------------|---------------------------|-------|
| | 1008 | 1010 |
| 20 | 14.2 | 15.4 |
| 100 | 19.0 | 20.2 |
| 200 | 26.0 | 27.1 |
| 400 | 45.8 | 46.8 |
| 600 | 73.4 | 74.3 |
| 700 | 90.5 | 91.2 |
| 800 | 108.1 | 108.9 |
| 900 | 113.0 | 113.6 |
| 1000 | 116.5 | 117.0 |
| 1100 | 119.3 | 119.7 |
| 1200 | 122.0 | 122.4 |
| 1300 | 124.4 | 124.7 |

Control de calidad será responsable de verificar la calidad de la lmina y determinar si se puede usar en embutidos, troquelados, dobles. etc., además de tener en cuenta los siguientes puntos básicos de la inspección:

- a) Presentación de paquetes y rollos.
- b) Acabado superficial.
- c) Identificación.
- d) Calibre requerido.
- e) Dimensiones generales.
- f) Análisis químico (si se requiere).
- g) Comprobación de dureza superficial Rockwell " B " efectuando - pruebas físicas en probetas.

LAMINA MAGNETICA:

En el año de 1900, se produjeron en forma comercial, los primeros - aceros magnéticos en América y se descubrió que la adición de silicio en el acero, aumentaba la resistencia eléctrica, lo que ocasionaba una baja en las pérdidas por corrientes circulantes (corrientes de Foucault) y reduciendo las pérdidas por histéresis al mejorar la permeabilidad, pero estamos limitados en el empleo del silicio por razones mecánicas, debido a que las láminas se vuelven más frágiles.

De todos los aceros magnéticos, los más ampliamente usados son los - conocidos como " ACEROS ELECTRICOS " y son aquellos con bajo contenido de carbón, el que varía entre 0.005 y 0.02 % aproximadamente.

Los aceros magnéticos al silicio orientados, son aleaciones de hierro laminadas en frío o en caliente y un determinado porcentaje de silicio, procesado bajo un control muy estricto para obtener óptimas características magnéticas en dirección del laminado, o sea pérdidas de hierro de baja y alta permeabilidad.

Actualmente existen varias clases de aceros eléctricos que son:

Aceros no orientados.- Son aquellos en los cuales las propiedades magnéticas son prácticamente las mismas en cualquier dirección en el plano del material.

El término " no orientado ", es usado para diferenciar estos materiales de otros que fueron producidos por procesos que crean una orientación definida; estos aceros se usan en aplicaciones en donde sus propiedades magnéticas con respecto al sentido del laminado, no corresponden, por ejemplo: en laminaciones para motores en donde el flujo viaja en diferentes direcciones.

Aceros con grano orientado.- Estos aceros son los producidos gene--

ralmente con una aleación mayor de 3.5 % de silicio y un proceso - controlado que consiste en un rolado en caliente y dos pasos de reducción en frío, con un recocido intermedio y siempre bajo atmósferas controladas durante el rolado, los cristales o granos son alargados y su orientación es alterada, pero al recocerse la recristalización o crecimiento del grano, se orienta en dirección del alargamiento que sufrió durante el proceso, quedando así orientado en dirección en que fue rolado.

En este caso si el porcentaje de silicio es mayor de 4.5 % el metal tiene poca ductividad y además se reduce la densidad de saturación requiriendo altas corrientes de excitación para altas densidades de flujo.

Aceros rolados en caliente.- Estos aceros son no orientados y rolados a temperaturas muy elevadas (1800°C), para dar un espesor final. Dando un último rolado a temperatura ambiente para mejorar su apariencia y planicidad sin modificar considerablemente su espesor.

Aceros rolados en frío.- Estos aceros son rolados en caliente hasta unos espesores cercanos al espesor final y rolados en frío posteriormente para eliminar las escamas y mejorar considerablemente su acabado superficial y su planicidad. Estos aceros como los rolados en caliente no son orientados.

Aceros delgados.- Este término es usado para designar los aceros al silicio con espesores de 0.0254 a 0.1778 mm., (0.001 a 0.007"), y poseen una calidad magnética excepcional, son para aplicaciones en donde se requiere el uso de frecuencias entre 400 y 2000 ciclos por segundo o mayores, y se pueden obtener con grano orientado o no orientado.

Aceros magnéticos totalmente procesados.— Son aquellos en los que fueron obtenidas completamente sus propiedades magnéticas por el fabricante, por lo que el consumidor puede usarlo sin ningún tratamiento o si se requiere mejorarlo, puede someterlo a tratamientos (800°C), para eliminar los esfuerzos introducidos por el usuario durante los procesos de fabricación de su producto.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS MATERIALES FERROMAGNETICOS

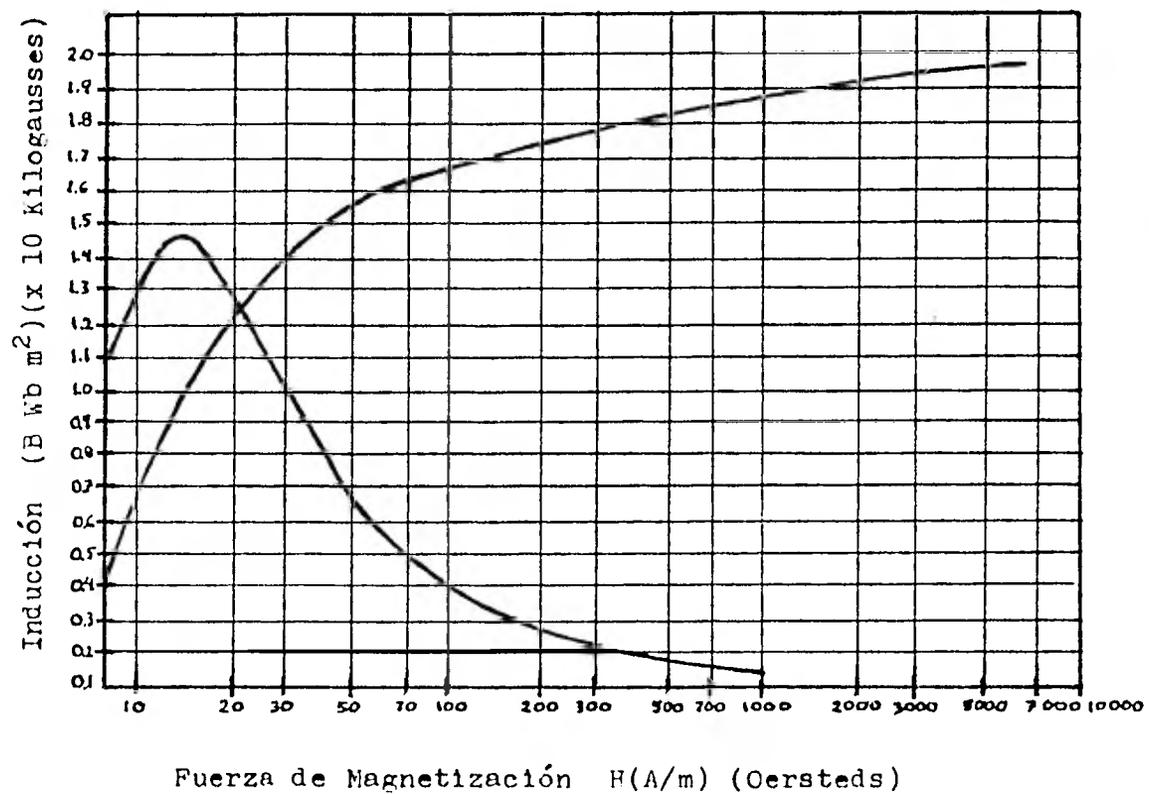
Puesto que la sola teoría del magnetismo no nos permite determinar las características de un material, además de que para este mismo — pueden existir valores distintos por haber sido golpeado o recocido o bien sometido a una magnetización anterior; si la magnetización — llega a su saturación total, sus características deberán obtenerse siempre por la vía experimental.

Normalmente las propiedades magnéticas de los materiales ferromagnéticos se determinan por medio de su curva de magnetización, curva que es la relación entre la inducción magnética, densidad de flujo B y la fuerza magnetomotriz.

$$B = \mu H \quad \text{y} \quad \mu = \frac{B}{H}$$

Como ya se ha mencionado, esta curva no puede establecerse como función matemática, se le traza individualmente para cada metal, estableciéndose en las abscisas la fuerza de magnetización H y en las — ordenadas la densidad de flujo B, de lo cual podemos decir que para cada punto de la curva existe un valor. La permeabilidad μ no sigue ninguna ley, sino que es variable, y es así como de estas curvas a partir de B, H y μ , las demás características magnéticas derivadas de las mismas. En la figura 1, tenemos la curva típica de mag

CURVA DE MAGNETIZACION ACERO GRANO ORIENTADO



netización utilizada hoy día por todos los diseñadores de transformadores y en donde nos podemos dar cuenta que se le divide en tres zonas principales:

- 1.- Aquella en que la densidad aumenta muy lentamente según crece H.
- 2.- Aquella en que la densidad de flujo B, aumenta, más rápidamente.
- 3.- Aquella en la que B, aumenta cada vez menos conforme aumenta H.

Los límites de estos tres procesos dependen del material de que se trate; también se puede ver la forma de comportarse de la permeabilidad al ir aumentando desde cero el valor de H, podemos notar que el valor máximo de μ es precisamente la pendiente de la tangente a la curva de magnetización trazada desde cero. También se puede notar que el material alcanza una saturación magnética, pues precisamente cuando todas las partículas magnéticas se han orientado en el mismo sentido y ya no aparece la propiedad ferromagnética, sino que B aumenta en la misma cantidad que H.

El resultado de la magnetización que se obtenga en un metal, depende de su historial magnético y de la forma en que se llegue a su magnetización.

Si un material ya ha sido magnetizado, deberá someterse a su desmagnetización, la cual se obtiene sometiéndole a una aplicación sucesiva de una fuerza magnetizante que se irá cambiando de sentido y de valor decreciendo gradualmente, a partir de un valor máximo hasta uno que sea menor que el mínimo al cual se le va a hacer el estudio.

La práctica nos ha demostrado que la desmagnetización deberá iniciarse con un valor al cual pertenezca a la tercera zona de la cur-

va de magnetización, no siendo la muestra del material en estudio. En las curvas 2 y 3 notaremos que al decrecer la fuerza magnetizante H , los valores de B no siguen la curva de valores correspondientes a H creciente, las flechas indican la forma en que se fue desarrollando el proceso, para B obtendremos valores mayores que los obtenidos al iniciar nuestro proceso desde cero.

Para lograr esas curvas cerradas de los materiales debemos aplicar la fuerza de magnetización H que está dada en Ampere-Vueltas/cm. desde un valor cero hasta H_m , a partir del cual se deberá regresar a cero y se invertirá su sentido hasta lograr que B sea cero, es decir, hasta $-H_c$; de este punto se hará decrecer más todavía a H -- hasta $-H_m$, el cual es el mismo valor absoluto de H_m , pero de signo contrario; llegando a ese punto, H seguirá aumentando hasta llegar al punto cuatro, el cual no coincidirá con el punto uno, en el punto cuatro se repite la variación de H , siempre entre los límites anteriores, H_m y $-H_m$, hasta llegar al punto cinco en el que las diferencias de B son menores y así se repetirá varias veces el mismo proceso hasta que se logre una curva cerrada, como se muestra en la figura 2; 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 1, curva que será simétrica con respecto a cero, al obtener la cerrada H_m y $-H_m$ son iguales, es entonces cuando se dice haber llegado a su estado cíclico simétrico de magnetización, o bien a su estado cíclico para un valor H_m .

El estudio de esta curva demuestra que el material tiende a oponerse a los cambios de la densidad de flujo B , tendencia a la cual se denomina histéresis.

Ciclo de histéresis es el fenómeno que provoca pérdidas por disipación de energía. En la figura tres tenemos puntos muy importantes -- como aquellos en que H ha llegado a cero y aún B , tiene un valor B_r y para que este valor lo podamos hacer cero, es necesario aplicar -- un valor de $-H_c$. Estos puntos nos dan las características principales de los materiales magnéticos.

Dichas características son las siguientes:

- a. Remanencia
- b. Retentividad
- c. Densidad de flujo remanente
- d. Fuerza coercitiva
- e. Coercitividad

- a. Remanencia.- Es la inducción magnética, o densidad de flujo B, que aún le queda al material magnético, después de suspender - la acción de una fuerza magnetizante H, que se le aplica.
- b. Retentividad.- Es la densidad de flujo que aún permanece después de retirar la acción magnetizante, cuando ésta ha llegado a un valor tal, que llevó al material a su valor de saturación magnética.
- c. Densidad de flujo remanente.- Es el valor de B, B_r , que corresponde a un valor cero de H, cuando el material ha sido sometido a una magnetización cíclica.
- d. Fuerza coercitiva.- (H_c) Es el valor de la fuerza magnetizante que corresponde a cero de B, cuando el material fue magnetizado en forma cíclica completa.
- e. Coercitividad.- Se le dá el nombre de coercitividad a la fuerza necesaria para llevar a la densidad magnética a un valor cero cuando se ha llevado al material a su saturación.

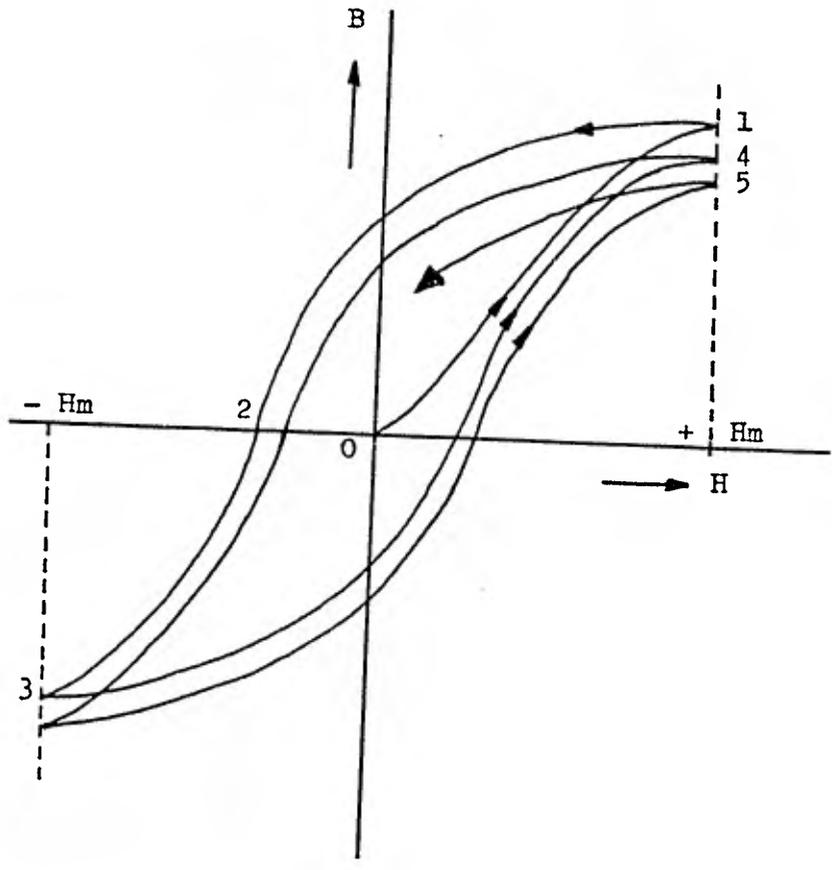


Figura 2

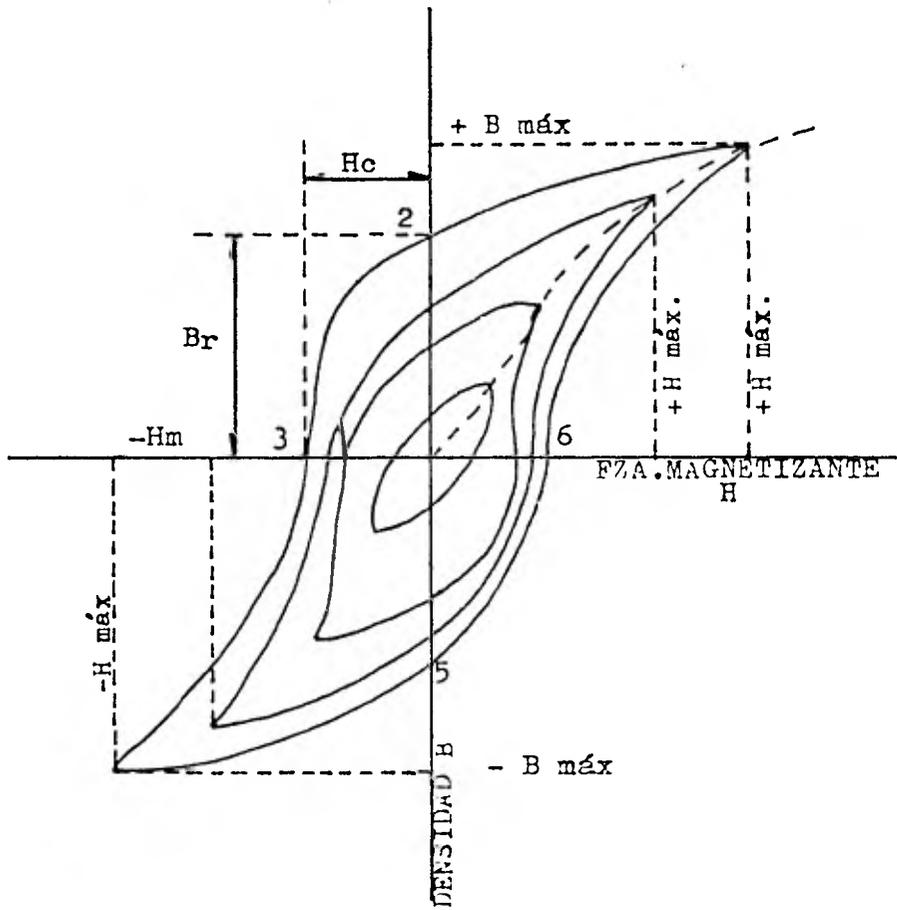


Figura 3

PERDIDAS EN LOS NUCLEOS MAGNETICOS

Una diferencia notable existe entre los circuitos magnéticos alimentados con corriente continua y los alimentados con corriente alterna; los núcleos alimentados con corriente continua no se calientan, caso contrario a los alimentados con corriente alterna que sí se calientan.

Lo anterior se debe a que los flujos creados por las corrientes alternas producen calentamiento debido a la disipación de energía, es decir, que hay pérdidas de energía en esos circuitos. Dichas pérdidas provienen, por las siguientes causas:

- 1) La propiedad que tienen los materiales ferromagnéticos de oponerse a cualquier cambio de su estado magnético, es decir, a la histéresis.
- 2) A las corrientes parásitas que circulan en el núcleo, creadas por las fuerzas electromotrices que a su vez provienen de las variaciones del flujo magnético, es decir, es energía disipada RI^2 .

Esto sólo existe cuando el núcleo está sometido a una acción cíclica, puesto que el fenómeno de histéresis se realiza por la acción antes mencionada, pero si consideramos la oposición de las fuerzas electromotrices sumadas a las RI^2 , tendremos lo que conocemos como "pérdidas en el núcleo o pérdidas de núcleo".

Valor de las pérdidas por histéresis.- Se ha demostrado que la energía absorbida por unidad de volumen en un material magnético, a través del cual hay un flujo magnético, y cuya curva de histéresis es:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int_{B_1}^{B_2} H \cdot dB$$

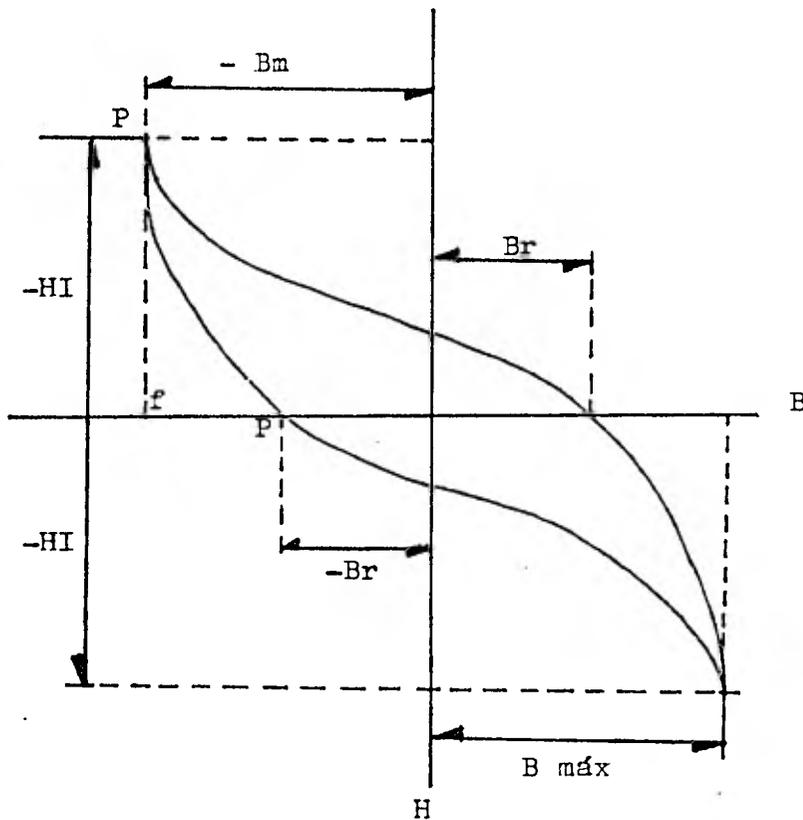


Figura 4

Cuya integral es proporcional al área comprendida dentro de la curva, de tal manera que la energía absorbida y disipada en forma de calor, para un núcleo de volumen V, y durante un ciclo será:

$$W = \frac{V}{4\pi} A$$

La potencia desarrollada, o sea la energía disipada por segundo, a una frecuencia f, será:

$$Ph = \frac{V f A}{4 \cdot \pi}$$

siendo A el área encerrada por la curva de histéresis, que está expresada por el producto de B por H.

Después de un gran número de ensayos, se estableció que el área de las curvas de histéresis que son empleadas en máquinas electromagnéticas es aproximadamente de $(B_m)^{1.6}$ siempre y cuando B_m no se salga de los límites de 1000 a 12000 gaussess; para valores muy bajos de B, las pérdidas varían con el cuadrado de B_m y para los valores mayores de 12000 gaussess; esta ley exponencial no tiene aproximación, - debido a que se aumentan las pérdidas notablemente.

VALOR DE LAS PERDIDAS POR CORRIENTES DE FOCOULT

Como ya hemos dicho anteriormente siempre que el flujo varíe en un material magnético, se producirán fuerzas electromotrices que crearán corrientes eléctricas, las cuales a su vez producirán pérdidas de energía. Para poder calcular estas pérdidas, se ha obtenido una ecuación, la cual permite obtener valores suficientemente aproximados, siempre y cuando la frecuencia no sea muy elevada y además que los núcleos que se están tomando en consideración no sean demasiado

grandes, que sean laminados.

Esta relación nos muestra que las pérdidas por corriente parásitas son directamente proporcionales a los cuadrados de la frecuencia, - la densidad y el espesor de la lámina.

$$p_e = K f^2 B_m^2 t^2$$

En donde:

P_e = Pérdidas por unidad de volumen

f = Frecuencia

B_m = Densidad máxima

t = Espesor de la lámina

K = Constante que depende del material de que se trate siendo inversamente proporcional a la resistividad de éste.

El valor teórico de K , es:

$$K = \frac{\pi^2}{6 \rho}$$

Las pérdidas por corrientes parásitas son mayores cuando las láminas no están debidamente aisladas, y menores cuando las láminas sean de un espesor menor, sin embargo, hay un límite para esta disminución de espesor y es cuando ya no se obtienen los resultados esperados, es decir, cuando el cuadrado de B empieza a aumentar.

AISLAMIENTOS :

Los aislamientos como una de las partes importantes en la vida útil de un transformador, se clasifican de acuerdo a la temperatura a -- que van a trabajar. El Comité Consultivo de Normas Nacionales de La Industria Eléctrica (CCONNIE) los clasifica de la siguiente manera:

| <u>C L A S E</u> | <u>T E M P E R A T U R A</u> |
|------------------|------------------------------|
| 90 | 90 °C |
| 105 | 105 °C |
| 120 | 120 °C |
| 130 | 130 °C |
| 155 | 155 °C |
| 180 | 180 °C |
| más de 180 | más de 180 °C |

Clase 90.-- Es la clase de aislamiento que comprende materiales o -- combinación de los mismos, tales como: algodón, cera y papel sin impregnación sumergidos en aceite en un líquido dieléctrico.

Clase 105.-- Es la clase de aislamiento que comprende materiales tales como: algodón, seda, papel debidamente impregnados o sumergidos en líquidos dieléctricos como el aceite aislante.

Clase 120.-- Esta clase de aislamiento es la que comprende materiales o combinación de los mismos, como: cartón, papel y productos de papel térmicamente estabilizados, convenientemente impregnados o re-- vestidos o sumergidos en líquidos dieléctricos como aceite aislante.

Clase 130.-- Es la clase de aislamientos que comprende materiales cono: mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con un aglomerante, impregnante o revestimiento adecuados.

Clase 155.- Esta clase de aislamiento comprende materiales o combinación de los mismos tales como: mica, fibra de vidrio, asbestos, etc.

Clase 180.- Es la clase de aislamientos que comprende los materiales como: mica, porcelana, vidrio, cuarzo y asbestos, con o sin aglutinantes inorgánicos.

En todas y cada una de las clases de aislamiento antes mencionadas, podrán ser incluidos materiales si por medio de ensayos adecuados, demuestran ser capaces de soportar satisfactoriamente las temperaturas a las cuales pertenecen según su clasificación.

En el diseño de transformadores (tipo residencial), se utiliza papel y cartón Clase 105, el cual viene impregnado de barniz silicón con el objeto de soportar temperaturas de 65°C más la temperatura del ambiente (40°C), lo que nos da una temperatura de 105°C .

Impregnación adecuada.- Un aislante se considera IMPREGNADO cuando el aire entre sus fibras es reemplazado por una sustancia impregnante, tal como un barniz que une sus fibras componentes de la estructura aislante y las provee de una película superficial que impide el ingreso de humedad, polvo u otras contaminaciones en grado tal que asegure su comportamiento adecuado durante el servicio a -- que será destinado como aislamiento.

DESCRIPCION DE MATERIALES AISLANTES UTILIZADOS EN LA FABRICACION DE TRANSFORMADORES :

Cinta de algodón.- Se le emplea normalmente sin tratamiento adicional alguno en la fabricación de forros y cubiertas o de conductores eléctricos, atendiendo principalmente, a su gran flexibilidad que -

le permite a su vez soportar varias vueltas y dobleces sin dañar -- sus propiedades dieléctricas ni las mecánicas; otra de sus propiedades de gran utilidad es la de absorber con facilidad los aceites y barnices aislantes.

Jinta de Seda..- A ésta, se le usa en forma similar a la de algodón, pero es de características eléctricas superiores.

Papel..- Este es uno de los materiales más usados en este grupo, pudiendo mencionar: papel craft, presspahn, cartón prensado press---board.

El papel presspahn es el más utilizado para temperaturas de 65°C y viene en diferentes espesores tales como: 0.002", 0.005", 0.010", 0.020", 1/32, 1/16, etc. Se recibe para medidas de 0.002" a 0.020" en rollos y para los espesores más gruesos en hojas de 1.5 X 3 metros; se utiliza en la fabricación de canales y como aislamiento en tre capas; también se emplea en cuñas, espaciadores, rellenos, etc.

Madera..- El uso de madera es limitado, generalmente se utilizan maderas duras como el oyamel, el haya, etc., y se emplea en la fabricación de tableros de alta o baja tensión, blockes, cuñas entre núcleo y bobinas. Es importante que la madera sea secada antes de la impregnación, debido a lo difícil que sería eliminar la humedad una vez impregnada. Su rigidez dieléctrica perfectamente seca es de 2.5 KV/ cm sin señales de quemarse o calentarse.

Mica..- Bajo esta denominación se conocen varios silicatos de forma laminar, que tienen extraordinarias cualidades dieléctricas. Los -- productos aislantes de que se dispone normalmente con este nombre -- de mica, son realmente combinaciones de ésta con papel o tela unidos entre sí, mediante cementos y barnices flexibles, también aislantes. La mica pura soporta altas temperaturas sin alterar sus propie

dades dieléctricas. Se le puede emplear normalmente sin pruebas especiales a temperaturas hasta de 500°C. Otra de sus ventajas es -- que no puede ser alterada por ácidos y álcalis.

Cristal.-- A este material se le ha utilizado más para la fabricación de otros aparatos u objetos, que como aislante, combinado con fibras de algodón y algunas veces como asbesto, se han obtenido telas o cintas, cuya rigidez dieléctrica es extraordinaria, a la cual para hacerla uniforme, se le impregna con resinas sintéticas aislantes cubriendo totalmente los poros que quedan al realizar el tejido.

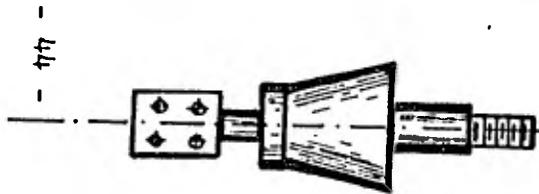
Entre los aislamientos tendremos que considerar las boquillas de alta y baja tensión;

Boquillas de Baja Tensión.-- Normalmente estas boquillas son de porcelana o moldeadas en resina epóxica, proporcionando una rigidez mecánica excelente.

Existen tres tipos diferentes:

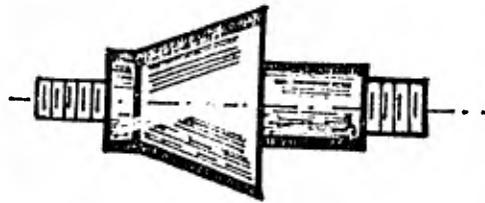
- a. Boquilla tipo espada (fig.5); con cuatro barrenos en cuadro -- que facilita la alimentación a varios circuitos secundarios en cada fase.
- b. Boquilla tipo perno (fig.6); este tipo de boquilla es ideal para ensamblarse a un conector premoldeado que permite alimentar a varios circuitos independientes obteniéndose así una estructura completamente aislada.
- c. Boquilla de tipo de cable aislado (fig.7); en esta boquilla el cable se ensambla por uno de sus extremos directamente al cuerpo del epoxy y por el otro lado queda libre para hacerse el empalme con otros cables continuando con la distribución de energía.

BOQUILLAS BAJA TENSION MOLDEADAS .



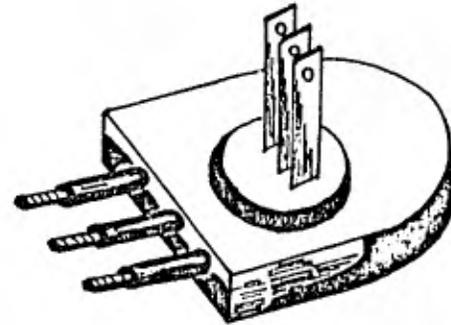
BOQUILLA TIPO ESPADA

FIGURA 5



BOQUILLA TIPO PERNO

FIGURA 6



BOQUILLA TIPO CABLE AISLADO

FIGURA 7

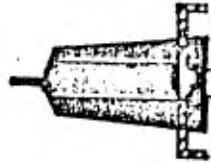
gía, obteniéndose así una estructura perfectamente aislada.

Boquillas de Alta Tensión.- Las boquillas de alta tensión son del tipo de frente muerto, denominado así, porque en su periferia se obtienen potenciales cero, lográndose ésto, mediante un ensamble compuesto generalmente de tres partes:

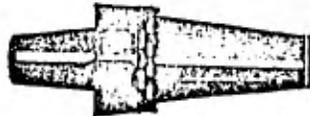
- a. Boquilla
- b. Adaptador o Inserto
- c. Codo Conector

- a. Boquilla.- Es la que permite conectar el interior del transformador con el exterior. Se coloca en la pared del tanque, soldando la brida para evitar fugas por empaques defectuosos si fuese atornillada.
- b. Adaptador o Inserto.- Sirve para hacer la conexión entre la boquilla y el codo, además, es la parte donde se realizan los trabajos de conexión y desconexión. Existen dos tipos:
 1. El adaptador para operar en condiciones de carga.
 2. Adaptador o inserto para operar sin carga. Este tipo de adaptadores va atornillado a la boquilla, debiendo estar completamente limpia. es decir, no deberá tener suciedad, o partículas de metales ajenos al ensamble de la misma.
- c. Codo Conector.- Sin duda ésta es la parte más importante de la boquilla de alta tensión, ya que un codo defectuoso, es decir, perforado o deteriorado en sus aislamientos puede poner en peligro la vida de un operador del sistema o alguna otra persona que tuviese acceso al transformador. Por lo anterior,-

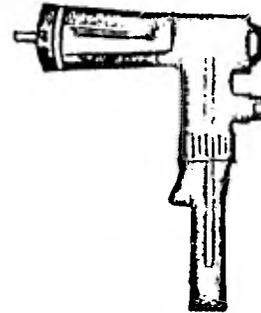
BOQUILLA
P O Z O



INSERTO OPER. CON
C A R G A

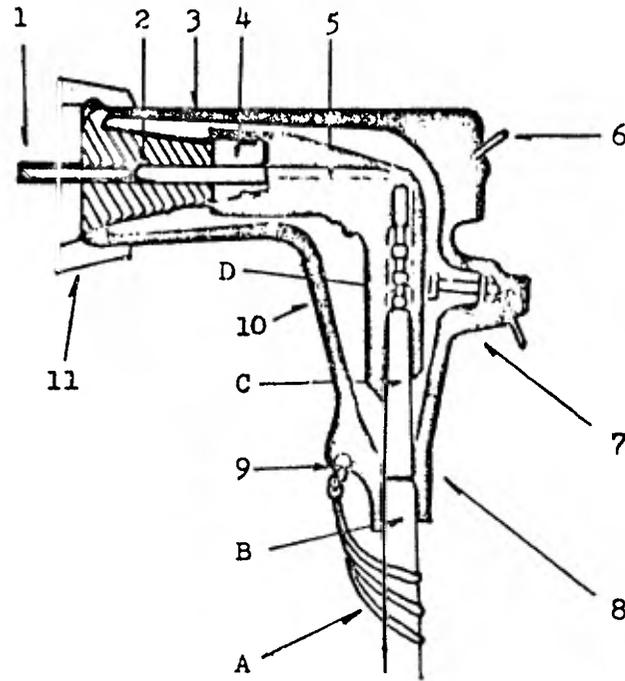


CODO CONECTOR
OPER. CON CARGA



ENSAMBLE BOQUILLA TIPO POZO INSERTO OPERACION CON
CARGA Y CODO CONECTOR 200 AMPS. 95 KV BIL.

FIGURA 8



- 1.- GUIA DE MATERIAL RESISTENTE AL ARCO
 - 2.- ESPACIO PARA ALOJAMIENTO DEL BUSHING
 - 3.- CUBIERTA EXTERIOR SEMICONDUCTORA
 - 4.- SEGURO DE APERTURA RAPIDA
 - 5.- ELEMENTO DE CONTINUIDAD ELECTRICA
 - 6.- ARGOLLA DE OPERACION
 - 7.- PUNTO DE PRUEBA DE VOLTAJE
 - 8.- CONO DE ALIVIO
 - 9.- PUNTO DE ATERRIZAMIENTO
 - 10.- PANTALLA INTERNA MOLDEADA
 - 11.- CUBIERTA PROTECTORA
-
- A.- NEUTRO - PANTALLA DE CABLE DRS
 - B.- CUBIERTA SEMI-CONDUCTORA
 - C.- AISLAMIENTO DE ETILENO PROPILENO
 - D.- CONECTOR DE COMPRESION.

COMPONENTES CODO CONECTOR OPERACION CON CARGA
2 0 0 AMPS.

FIGURA 9

Control de calidad debe aplicar alto potencial para certificar que puede ser utilizado. Estos codos y boquillas están fabricados de un ETILENO-PROPILENO que consiste en terpolimerar, una propiedad de este material de su alta resistencia a los altos voltajes. El principal fabricante de codos conectores es "Elastimold", el cual los suministra al mercado con capacidad de aislamiento para sistemas de 15 KV y 25 KV de 200 a 600 amps. con entradas para conductores del no. 6 al No. 4/0; las partes integrantes del codo conector se especifican en la figura 8.

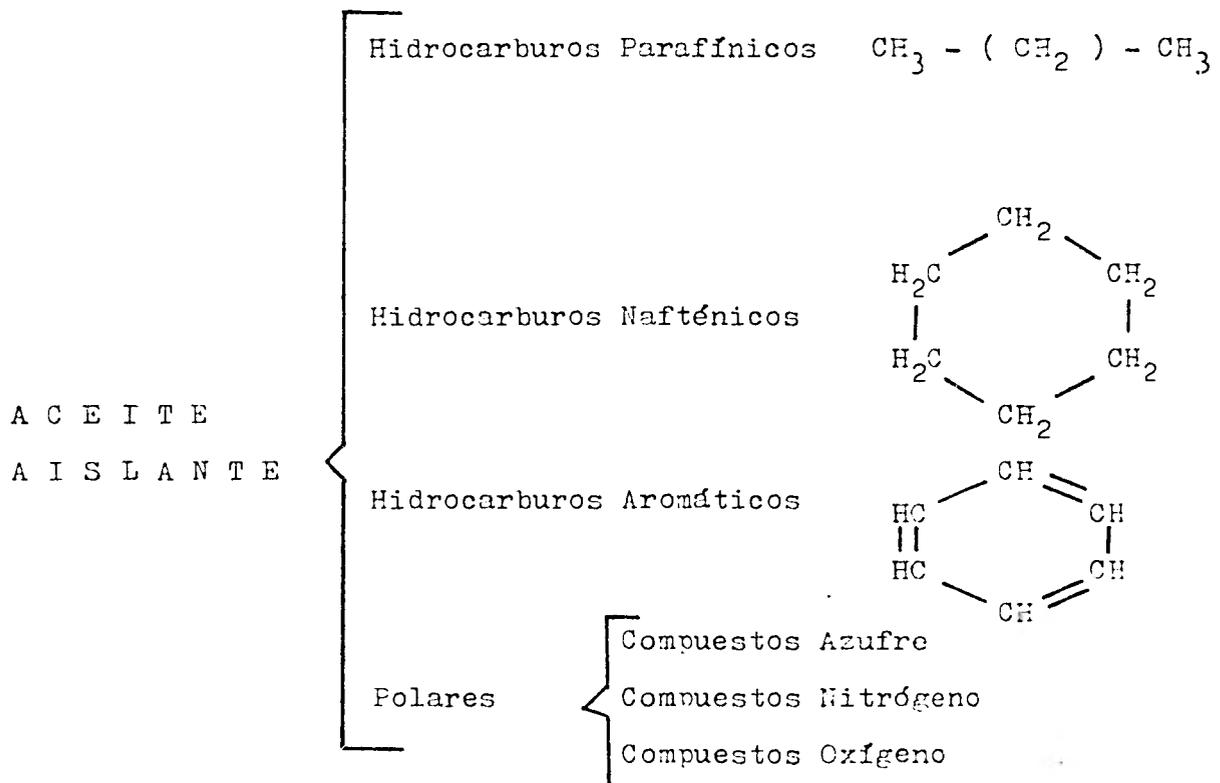
ACEITE AISLANTE:

De acuerdo a la experiencia y a los conocimientos adquiridos a través del tiempo, las tendencias respecto a las características deseables de un aceite aislante han sufrido diversas modificaciones. En el pasado, el único concepto que decidía sobre la CALIDAD de un aceite, era su estabilidad a la oxidación y con ese fin se desarrollaron numerosos métodos de prueba; posteriormente, el concepto varió en favor de las propiedades físicas y eléctricas como el factor de potencia y la rigidez dieléctrica.

La tendencia actual radica en relacionar las características de los aceites con su composición química. De acuerdo a esta orientación, se han llevado a cabo numerosos trabajos que comprenden el estudio tanto de las materias primas empleadas como de los diferentes procesos a que son sometidos para la obtención de aceites aislantes de buena calidad.

De acuerdo a lo anterior puede mencionarse que los aceites empleados como materia prima en la elaboración de los aceites aislantes están constituidos por hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos. También se encuentran presentes en concentraciones muy bajas de compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno que globalmente son conocidos como compuestos polares.

COMPOSICION DESDE EL PUNTO DE VISTA QUIMICO
DE LOS ACEITES AISLANTES



El objeto de los aceites usados en transformadores de distribución y potencia es el de proveer un aislamiento eléctrico adecuado y un medio de conducción del calor generado en el transformador.

Para que un aceite sea usado en un transformador, deberá pasar satisfactoriamente las siguientes pruebas requeridas por Normas (CC-ONNIE):

- a).- Densidad Relativa.- (ρ_r).- Es una propiedad inherente de los aceites. Un aceite más denso debería ser un aislante mejor y un refrigerante también mejor a excepción del hecho que mostraría una variación más amplia de la viscosidad con la temperatura. La densidad a 20°C/4°C para aceite tipo S hasta 25 KV debe ser de 0.870 como máximo y para tipo M hasta 115 KV debe estar entre 0.865 y 0.910.
- b).- Aromaticidad.- Determina el total de aromáticos presentes, es decir, el contenido de carbonos aromáticos, nafténicos y parafínicos en un aceite para transformador. Esta no es una prueba estándar, está relacionada inversamente con las propiedades de gasificación del aceite pero no puede substituir a otras pruebas pues la tendencia a liberar hidrógeno queda afectada por otras propiedades como la viscosidad y la volatilidad. Se ha encontrado también una relación inversa entre la aromaticidad y la ruptura al impulso que está de acuerdo con lo dicho anteriormente. La norma fija un contenido para aceite S de 4% y para aceite tipo M, está en estudio.
- c).- Viscosidad.- Esta característica es necesaria para conducir el calor generado en el transformador y así actuar como refrigerante. La determinación de la viscosidad cinemática se efectúa midiendo el tiempo de flujo por gravedad de un volumen fijo de aceite a una temperatura de 37.8°C a través de puntos capilares, calibrados y certificados. La unidad de viscosidad cinemática en el CGS es el stoke (cm²/seg) pero generalmente la viscosidad cinemática se expresa en centistokes. La viscosidad para ambos tipos de aceite no debe ser mayor de 10.4 centistokes.

- d).- Punto de Inflamación.- Esta es una medida que se acepta como indicación de constituyentes volátiles del aceite. Un punto de inflamación bajo en un aceite con punto de ignición alto, puede indicar corona incipiente o de hecho, arqueo dentro del equipo, y es una indicación de la presencia de productos de ruptura molecular (cracking) volátiles presentes en el aceite. La temperatura de inflamación permisible para un aceite de transformador es de 145°C a una presión de 760 mm de Hg.
- e).- Punto de Escurrimiento.-(Punto de Fluidéz o Congelación).- Es la temperatura a la cual el aceite apenas fluye en aceites libres de cera (parafina). Esto se debe a un aumento de viscosidad de los constituyentes no cristalizables; pero en los aceites parafínicos se debe a la separación de la cera lo cual inhibe el flujo de aceite. A la temperatura en que empieza a separarse la cera, el aceite se vuelve eléctricamente inestable, probablemente por la alta tasa de gasificación de la cera de parafina; por esta razón los aceites parafínicos no son recomendables para alta tensión, la temperatura de escurrimiento para un aceite tipo S es de -26°C y para un aceite tipo M de -40°C .
- f).- Tensión Interfacial.- Esta prueba determina las impurezas polares solubles en el aceite, aceite-agua, la fuente de impurezas puede ser una oxidación del aceite o contaminación externa, éstas son portadores de electrones y por ello contribuyen y aún pueden ser la causa de la falla eléctrica del aceite.
- g).- Número de Neutralización.- Entre las pruebas químicas efectuadas a un aceite, ésta es la más antigua y se utiliza para conocer el grado de eliminación de los ácidos nafténicos. Esta prueba es la cantidad equivalente de hidróxido de potasio (K(OH)) necesaria para neutralizar un gramo de aceite y no debe

ser mayor de 0.03 mg. para cualesquiera de los dos tipos de aceite (S/M).

PRUEBAS ELECTRICAS:

h).- Resistencia Dieléctrica.- Esta es una prueba común que mide la presencia de agua polimolecular dispersa en forma coloidal que puede actuar como hueco incipiente. También detecta sólidos en suspensión principalmente presencia de p.p.m. de agua. Esta medición se afecta en presencia de gases.

La tensión de ruptura dieléctrica permisible es la siguiente:

Electrodos planos 2.54 mm --- 30 KV de ruptura

Electrodos semiesféricos 1.02 mm --- 20 KV de ruptura

i).- Factor de Potencia.- Uno de los principales requisitos con que debe cumplir un buen dieléctrico para A.T., es la ausencia de agua. Deben también evitarse otros compuestos de baja resistividad para evitar la degradación y la falla del aislante. El factor de potencia alto encontrado en algunos aceites de transformador se atribuye a la formación de pequeñas cantidades de compuestos que generan iones o que conducen electrones; en estos compuestos, siempre se han encontrado trazas de cobre. La presencia de mercoptanos corrosivos en el aceite que se usa en cables y transformadores sellados producen una reacción con el óxido cuproso presente en todas las superficies de cobre, formándose compuestos cuprosos solubles en el aceite y cantidades equivalentes de agua. Esto eleva el factor de potencia.

Las pruebas de F.P. son aceptables si se obtienen los siguientes valores;

| <u>Temperatura °C</u> | <u>Factor de potencia en %</u> | |
|-----------------------|--------------------------------|---------------|
| | <u>Tipo S</u> | <u>Tipo H</u> |
| 25 | 0.05 máx. | 0.05 máx. |
| 100 | 0.50 máx. | 0.03 máx. |

Existen otras pruebas de aceptación tales como el Color y --
Acidez.

ACCESORIOS:

A medida que crecen y se desarrollan los sistemas subterráneos para distribución, aumenta la importancia de proveer una adecuada y segura protección eléctrica al equipo, así como a las personas que lo operan o están en contacto con él. Las fallas más graves en el sistema, considerando los daños físicos y materiales, son los ocasionados por transformadores. Atendiendo a la magnitud de los daños, estas fallas pueden considerarse como catastróficas cuando alguno de los accesorios falla; por lo tanto, Control de Calidad debe verificar el funcionamiento de cada accesorio o dispositivo que forma parte del ensamble del conjunto interior y del tanque del transformador.

Se dice que un transformador falla con consecuencias catastróficas cuando ocurre uno o varios de los siguientes casos:

1. La tapa del transformador y el registro de mano se desprenden violentamente.
2. Las boquillas son expelidas.
3. El tanque del transformador es dañado permitiendo fugas apreciables de aceite o gas.
4. Una cantidad de aceite es expulsada durante la falla.
5. El aceite del transformador se incendia.

De lo anterior, ciertos factores se combinan para producir las fallas catastróficas mencionadas; algunos de ellos son:

1. Pequeños arcos sostenidos durante un tiempo muy largo, lo cual provoca que la presión dentro del tanque se eleve lentamente.

2. Aumento de la presión estática debido al calentamiento y expansión del aceite provocado por sobre cargas excesivas y alto -- factor de carga.
3. Fallas con altas corrientes de arqueo dentro del transformador.
4. Operación de fusibles de tipo expulsión sumergidos en aceite, -- bajo altas corrientes de falla.

En el transformador existen diferentes dispositivos para proteger -- al mismo y al sistema asociado. El empleo de uno o más de ellos es-- tará basado en diferentes factores tales como : economía, capacidad disponible de falla, conveniencia de operación y márgenes de seguri-- dad deseados. En transformadores (residencial) se pueden emplear -- dos tipos de fusibles:

1. Fusible de expulsión.
2. Fusible limitador de corriente.

Fusible de Expulsión. - El fusible de expulsión es aquel que durante su operación de interrupción, expulsa gases para extinguir el arco eléctrico ocasionado por alguna falla.

La aplicación más común de estos fusibles en transformadores para -- DS, es el ensamble conocido como Bayoneta (Bay-o-net); en éste, dos fusibles son colocados en serie: fusible principal y fusible de -- aislamiento, ambos van sumergidos en el aceite del transformador. El fusible principal está dispuesto de forma tal que fácilmente es removible desde el exterior. El fusible de aislamiento es accesible después de destapar el transformador. El elemento de los dos fusi-- bles está constituido por una aleación eutéctica de bajo punto de fu-- sión, generalmente 145°C . La ventaja de esta característica es que el elemento puede ser sensible tanto a las sobrecargas como a las -- fallas. El fusible de aislamiento requiere mucho más energía (co--- rriente y/o tiempo) que el principal. Si llegase a circular una co--

rriente superior al rango del fusible principal (falla del transformador), el fusible de aislamiento se fundiría, evitando así que la unidad dañada sea reenergizada mediante el reemplazo del fusible principal. Esto le dá protección al operador, pues es muy probable que no se dé cuenta que el transformador ha sido destruido por altas corrientes de falla.

Ventajas.-

- a) Buena habilidad para interrumpir bajas corrientes de falla.
- b) Fácilmente reemplazable cuando se utiliza el ensamble tipo bayoneta.
- c) Bajo costo, pues éste no es sensible a las variaciones de capacidad y voltaje dentro de su rango de fabricación.

Desventajas.-

- a) Relativamente baja capacidad interruptiva.

Los rangos de capacidad interruptiva son aproximadamente -----
3,000 Amp. a 8.3 KV; 2,000 Amp. a 15 KV y 1,000 Amp. a 20 KV.
Cuando circulan corrientes mayores que las indicadas, se generarán gases los cuales incrementan peligrosamente la presión del tanque antes de que opere el fusible de respaldo.

FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE:

Entre los accesorios más importantes en un transformador, está el - fusible limitador de corriente ya que al operar protege al transfor- mador y evita sobre cargas fuera de límites de diseño que termina- rían con la vida útil del transformador. El fusible limitador de co- rriente, en sí es definido como un fusible que interrumpe con segu- ridad todas las corrientes disponibles dentro de su rango de inte- rrupción y dentro de su rango de limitación de corriente, limita el tiempo de interrupción bajo condiciones de voltaje nominal a un in- tervalo igual o menor que la duración del primer medio ciclo de co- rriente, limitando la corriente pico de fuga a un valor menor de la corriente pico que circula si el fusible fuese reemplazado por un - conductor sólido de la misma impedancia.

Los fusibles limitadores comúnmente conocidos como fusibles de are- na plata, consisten básicamente en uno o más alambres o listones de plata devanados espiralmente sobre un núcleo resistente a las altas temperaturas. El núcleo con el elemento fusible y los contactos ex- ternos, son colocados en un tubo que es también de un material re- sistente a las altas temperaturas; al final es llenado con arena de silicio de alta pureza y sellado en ambos extremos.

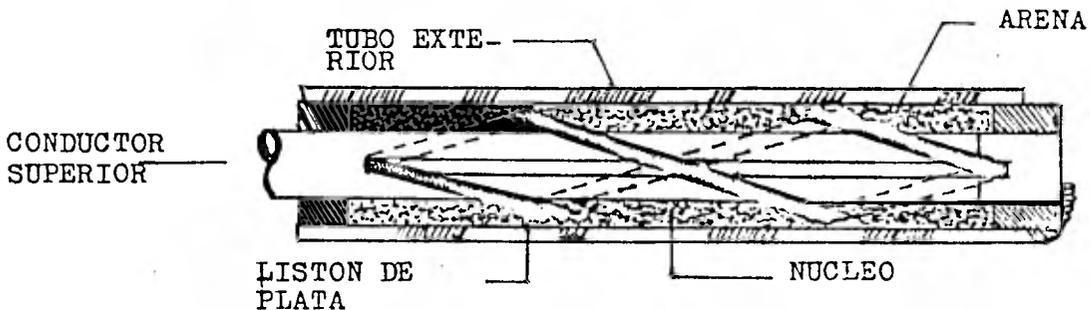
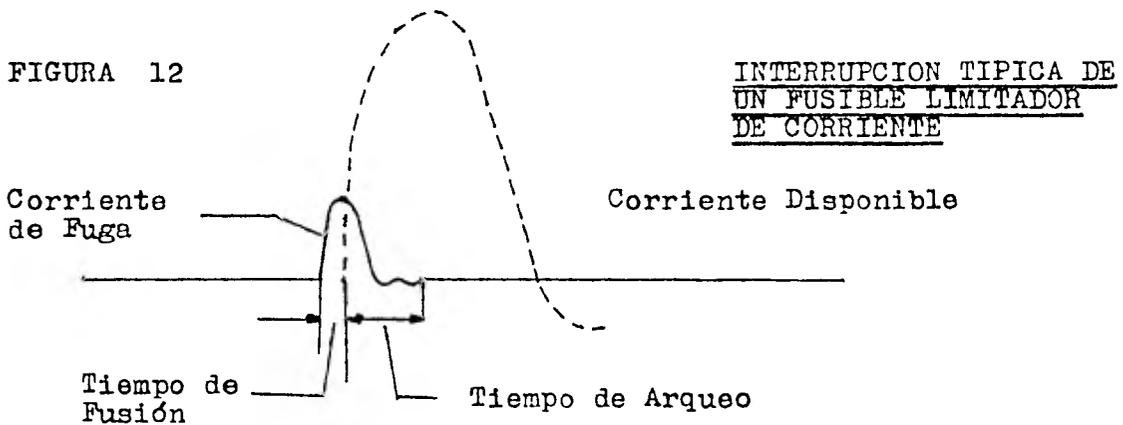


FIGURA 11

CONSTRUCCION TIPICA DE UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE

Cuando el fusible está operando a altas corrientes de falla, el elemento se funde casi instantáneamente, sobre su longitud total, el arqueado resultante transmite rápidamente su energía calorífica a la arena que lo rodea. Esta energía funde la arena y la transforma en una estructura vidriosa llamada fulgurita. La rápida pérdida de energía calorífica y el confinamiento del arco por el vidrio fundido limita la corriente a un valor relativamente pequeño conocido como corriente de fuga. La interrupción de la corriente se lleva a cabo en medio ciclo o menos.



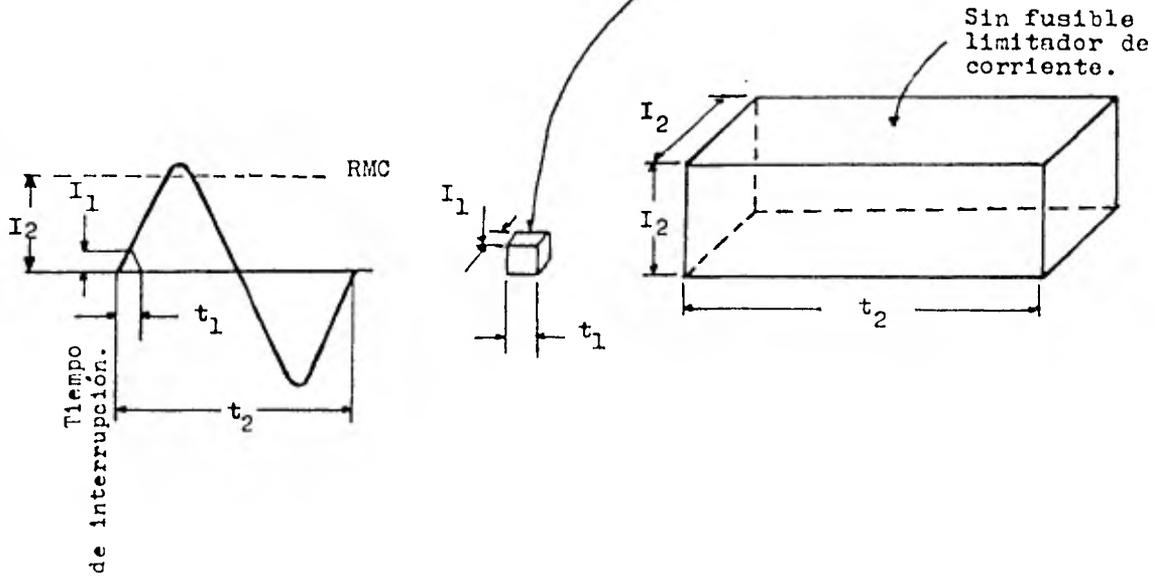
La principal ventaja que se tiene al usar FLC (fusible limitador de corriente) es su gran habilidad para limitar la energía. La energía de una falla se puede describir como I^2Rt en Joules (watt-seg). Debido a que la resistencia (R) de un arco es desconocida, y además, está cambiando constantemente. El término I^2t expresado en Joules por ohms o en amperes² segundos, combina las dos variables más importantes. I^2t representa la energía disponible que puede ser liberada en un componente resistivo durante el flujo de corriente bajo condiciones de arco; el término I^2t multiplicado por la resistencia del arco determina la cantidad de energía generada en la sección y por lo tanto la que está en disposición de degenerar el aceite y causar un aumento en la presión interna del tanque del transformador.

CORRIENTES EFECTIVAS

I_1 = Corriente efectiva de fuga

I_2 = Corriente RMC

Comparación de volúmenes con fusible limitador de corriente.



$(I_1)^2 t_1$ con fusible limitador de corriente

$(I_2)^2 t_2$ un ciclo sin fusible

FIGURA 13

ESQUEMA COMPARATIVO DE LA LIMITACION DE ENERGIA DE UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.

Una curva típica de $I^2 t$ para este tipo de fusible es graficada en un papel log-log, teniendo en las ordenadas el término $I^2 t$ y en las abscisas la corriente disponible RMC simétrica, tal como es muestra-

Por lo general, los fabricantes de fusibles proporcionan los valores de fusión mínima e interrupción total I^2t en forma tabular relacionándolos a las capacidades nominales de los fusibles.

Los fusibles limitadores de corriente se fabrican en dos clases; fusibles de respaldo (back-up) y de propósitos generales. Los primeros se utilizan cuando únicamente se requiere limitación de corriente o alta capacidad interruptiva, y tienen una capacidad mínima de interrupción (corriente mínima), generalmente se usan en combinación con fusibles de expulsión o interruptores secundarios para interrumpir bajas corrientes de falla. Los segundos (propósitos generales) se utilizan para interrumpir tanto bajas como altas "corrientes de falla", y estos últimos también se les conoce como fusibles de rango completo.

FLC DE PROPOSITOS GENERALES:

Ventajas.-

1. Alta capacidad interruptiva de corriente.
2. Su capacidad interruptiva de corriente no disminuye apreciablemente cuando se incrementa el voltaje del sistema.
3. Interrumpe bajo condiciones de alto voltaje de recuperación.
4. Debido a que no produce gases durante su operación, no incrementa la presión del tanque.
5. La interrupción se lleva a cabo silenciosamente.
6. Un solo fusible provee protección total contra sobre corriente.

FLC DE RESPALDO:

1. Las primeras cinco ventajas de los fusibles de propósitos generales, son aplicables también para los de respaldo.

2. Puede usarse sumergido en aceite.
3. Necesita reemplazo en el campo, puesto que cuando opera, implica una falla en el transformador.

FLC DE PROPOSITOS GENERALES:

Desventajas.-

1. Es más costoso y considerablemente más grande que el fusible de expulsión.
2. La condición de interrupción a bajas corrientes de falla hacen su diseño y construcción, más complejos.
3. Cuando opera por sobre carga, su reemplazo es mucho más costoso que el fusible de expulsión.

FLC DE RESPALDO:

1. Es más costoso y considerablemente más grande que el fusible de expulsión.
2. Necesita coordinarse con fusibles de expulsión o interruptores secundarios para proveer protección total.

Para una adecuada selección de fusibles, es necesario tomar en cuenta varios factores característicos:

1. Corriente de arranque del transformador.- Cuando el transformador es energizado, su corriente de excitación sufre un transitorio; a este fenómeno se le denomina corriente de arranque. Esta corriente está en función de las características internas del transformador, además del voltaje del sistema, sin embargo, para fines prácticos, se consideran los siguientes valores: 12 veces la corriente nominal de plena carga del transformador durante 1/10 segundos y 25 veces durante 1/100 de segundo.

La curva de fusión mínima del fusible escogido deberá estar a la derecha de estos valores.

2. Corrientes de Carga.- La máxima corriente de carga que circula a través del fusible es otro factor a considerar para una adecuada selección de éste. Las sobrecargas temporales permisibles de los transformadores se deben incluir.
3. Rango de Voltaje.- Este factor es particularmente importante cuando se utilizan FLC. El voltaje del sistema y la conexión del transformador determina el voltaje nominal del fusible, por ejemplo: un transformador monofásico con un voltaje en alta tensión de 7620/13,200 "Y" volts puede llevar FLC clase 8.3 KV, mientras que un trifásico de 13,200 "Y"/7620 debe llevar uno de clase 15 KV.
4. Capacidad interruptiva.- La capacidad de cortocircuito del sistema en el lugar donde se pretende instalar el transformador con sus fusibles, debe ser conocida a fin de compararla con la capacidad interruptiva de los mismos y determinar el tipo de fusible a emplear.

COORDINACION DE PROTECCIONES:

A menudo, varios de los dispositivos de protección descritos son dispuestos para operar en forma combinada, por lo tanto debe tenerse especial cuidado en la coordinación de su operación para asegurar un adecuado y seguro funcionamiento.

Algunas de estas combinaciones las analizaremos a continuación:

- a) Coordinación de un fusible de expulsión con un interruptor secundario interrumpe todas las corrientes de falla secundaria externa así como las sobrecargas perjudiciales, mientras que el -

fusible de expulsión interno, protege al sistema en caso de falla interna del transformador.

Si la capacidad de cortocircuito del sistema es superior a la capacidad interruptiva del fusible de expulsión, es necesario substituir éste por un fusible (FLC) de respaldo.

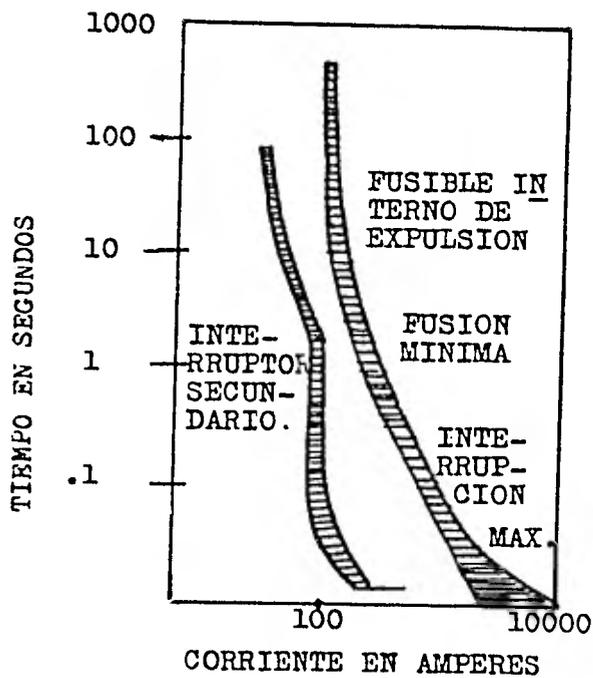
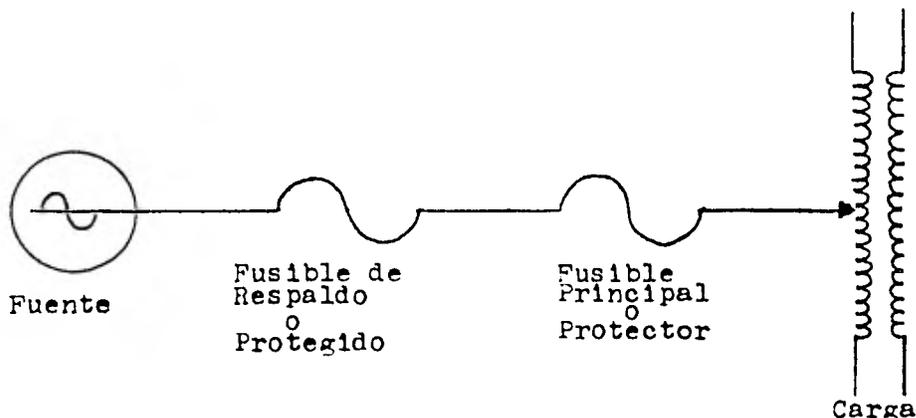


FIGURA 15

COORDINACION DE UN FUSIBLE DE EXPULSION INTERNO CON UN INTE-RRUPTOR SECUNDARIO.

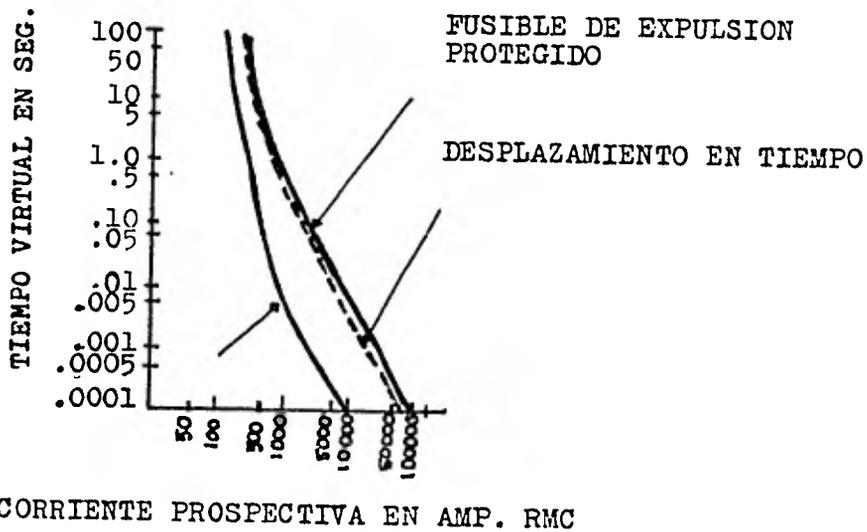
- b). Coordinación de fusibles en serie. Para una buena coordinación entre fusibles, la principal condición es que el fusible protector F_c (lado de carga), se funda e interrumpa el circuito antes que el circuito protegido (lado de la fuente), sea dañado.



El primer paso para la coordinación de fusibles en serie es comparar las curvas corriente-tiempo (CCT) de interrupción máxima de fusible protector F_c con la curva (CCT) de fusión mínima del fusible protegido. Para asegurar que el fusible F_f no sea dañado, se acostumbra considerar que el tiempo máximo de interrupción sea menor que el 75% del tiempo mínimo de fusión. Este factor es usado para permitir posible precalentamiento del fusible F_f debido a las condiciones de carga y a las variaciones en la temperatura ambiente de los fusibles.

- 1) Fusible limitador de corriente F_c protegiendo a un fusible ex - pulsión F_f . En la figura se compara la CCT de interrupción máxi ma del fusible F_c con la CCT de fusión mínima del fusible F_f , teniendo en el eje de las ordenadas el tiempo virtual (segundos) y en el eje de las abscisas la corriente prospectiva (amperes - RMC). En dicha curva se puede observar que para cualquier co--- rriente de falla, el tiempo de interrupción del fusible F_c es - menor que el 75% del tiempo mínimo de fusión del fusible F_f .

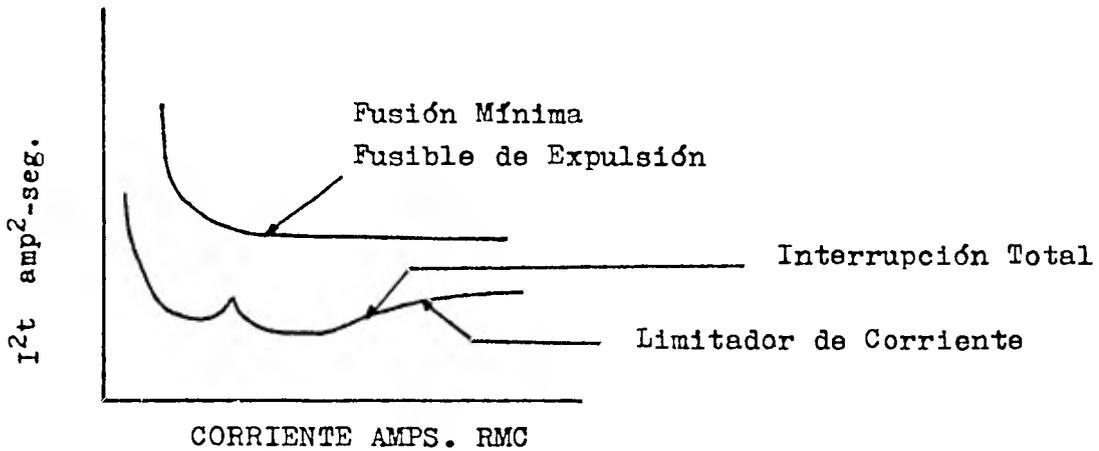
FIGURA
16



FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE
PROTEGIENDO UN FUSIBLE DE EXPULSION

Las curvas características de I^2t para este arreglo son mostradas en la siguiente figura (16) comprobando con ellos que existe buena coordinación para todos los rangos de corriente.

FIGURA 17

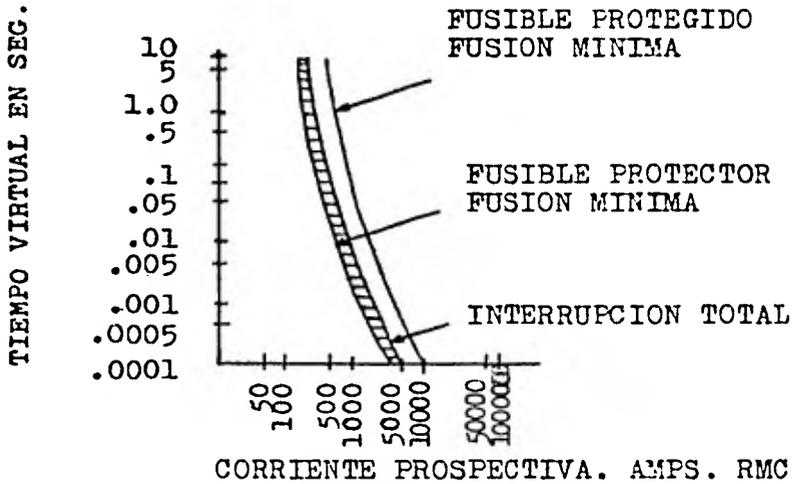


GRAFICA DE I^2t DE UN FUSIBLE LIMITADOR DE
CORRIENTE PROTEGIENDO UN FUSIBLE DE EXPULSION

- 2) Fusible limitador de corriente F_f protegiendo a un fusible limitador de corriente F_c .

La gráfica del tiempo virtual contra la corriente prospectiva - se muestra en la fig. 18 para asegurar una perfecta coordinación a través de un rango completo de corriente, es necesario - comprobar que la interrupción total I^2t del fusible protector - F_c sea menor que la fusión mínima I^2t del fusible protegido.

FIGURA 18



FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE PROTEGIENDO
A UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.

- 3) Fusible de expulsión F_c protegiendo a un fusible limitador de corriente. Un fusible de expulsión no puede interrumpir totalmente la corriente antes de 0.5 a 0.8 ciclos; debido a esta -- condición su coordinación es sólo posible a tiempos mayores de 0.014 segundos. En la figura 18 se puede ver que la coordina-- ción está limitada a bajas corrientes de falla: 1000 amperes - con fusibles (F_f) de 50 amperes; 3000 amperes con fusibles (F_f) de 100 amperes y 6000 amperes con fusibles (F_f) de 200 amperes nominales.

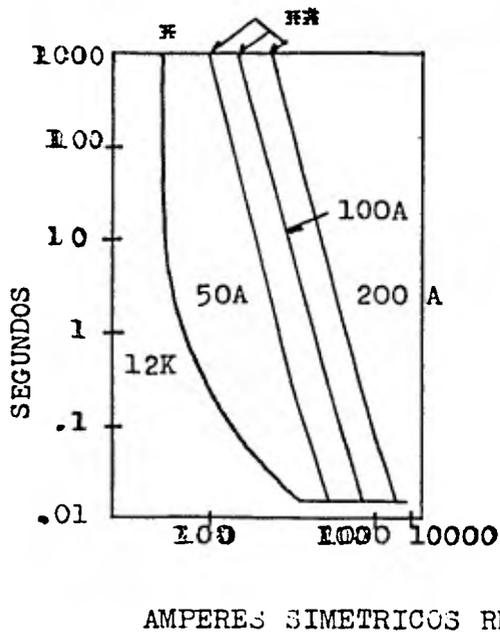


FIGURA 19

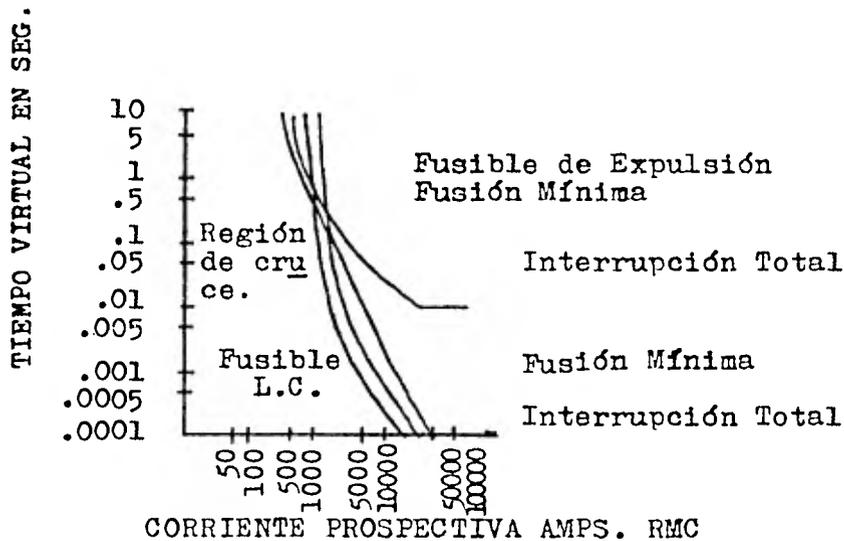
** FUSION MINIMA DEL
LIMITADOR DE CORRIENTE

* INTERRUPCION MAXIMA
DE EXPULSION

CCT DE INTERRUPCION MAXIMA DE UN FUSIBLE DE EXPULSION CONTRA
CCT DE FUSION MINIMA DE UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.

Una de las combinaciones de fusibles para protección de rango completo más comunes, consisten en un fusible de expulsión en serie con un FLC de respaldo. En este arreglo, el fusible de expulsión interrumpe las sobrecorrientes ocasionadas por fallas externas y sobrecargas intensas, y el FLC únicamente interrumpe altas corrientes de falla y su coordinación se detalla en la figura 19.

FIGURA 20



COORDINACION DE UN FLC DE RESPALDO
CON UN FUSIBLE DE EXPULSION INTERNA

La curva de interrupción total del fusible de expulsión interno debe ser seleccionado de tal forma que cruce la curva de fusión mínima del FLC a una corriente igual o ligeramente mayor que la corriente mínima nominal de interrupción del FLC.

INTERRUPTOR SECUNDARIO (CORTA CIRCUITOS):

Este dispositivo se utiliza para dar protección al transformador -- contra sobrecarga y cortocircuito externo, va colocado dentro del transformador sumergido en el aceite del mismo.

Por lo general su diseño incluye dos elementos sensibles, los cuales pueden operar el elemento de disparo del interruptor bajo una condición determinada.

El primero de estos elementos es un térmico sensible a las corrientes de carga y a la temperatura del aceite; permite sobrecargas temporales del transformador sin causar daño a los aislamientos. El segundo elemento es del tipo magnético, el cual dispara instantáneamente al detectar una corriente de cortocircuito.

Este interruptor puede tener varios accesorios como: luz de señalización de sobrecargas, control para sobrecargas de emergencia y operación manual.

Ventajas.-

- 1) Ahorro de tiempo y dinero. En caso de sobrecarga intensa o falla de cortocircuito, basta con restablecer el interruptor para dejar el transformador en disponibilidad de operación.
- 2) Excelente capacidad interruptiva. Hasta 12000 amperes, RMC.

Este tipo de accesorios se pueden probar y calibrar por Control de Calidad sin dañar la vida útil de dichos accesorios.

Accesorios Normales.- Este tipo de accesorios son los que normalmente debe llevar un transformador, por ejemplo: dispositivo para muestreo de aceite, conectores de tierra, válvula de sobrepresión, placa de datos, etc.

C A P I T U L O I I I

C O N T R O L D E C A L I D A D

E N L O S D I F E R E N T E S P R O C E S O S

D E F A B R I C A C I O N

El control de calidad en los diferentes procesos de fabricación, es de vital importancia, ya que la falla del mismo puede ocasionar --- trastornos costosos por reproceso de mano de obra y desperdicio de material.

El control de calidad se efectua en dos campos:

Control del Producto

Control del Proceso

Ingeniería de Diseño diseña un producto y Control de Calidad es responsable de que se manufacture dentro de la calidad requerida, esto implica el Control del producto.

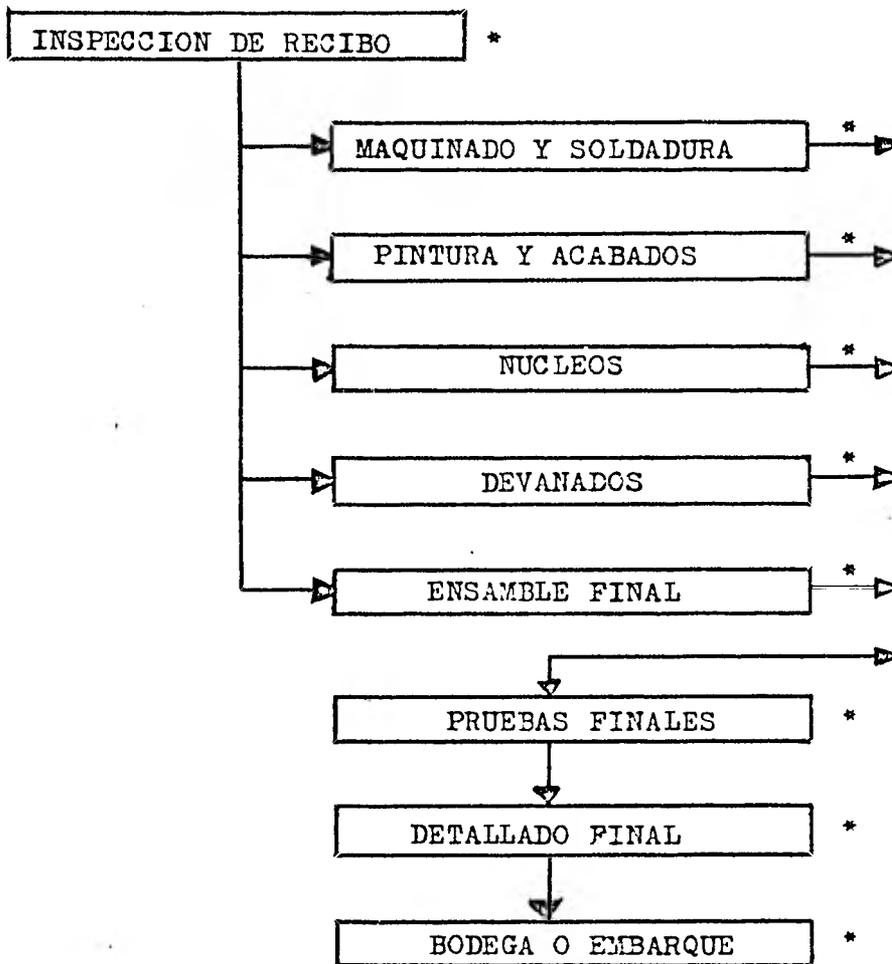
Ingeniería de Manufactura establece el proceso, y Control de Cali---dad cuida que el proceso se mantenga dentro de lo especificado, 'és---to es, Control de Calidad. En el organigrama de la figura 21 se ---muestran los procesos requeridos de fabricación. Es necesario men---cionar antes de iniciar los diferentes procesos de fabricación, el trabajo tan importante que desarrolla el Departamento de Inspección de Recibo, ya que en muchos casos el criterio del inspector puede significar el que se pase un material defectuoso o en otras circuns---tancias se puede detener por falta de material la fabricación de un producto. Por lo tanto es responsabilidad del inspector de Recibo ---mantener en orden los siguientes puntos:

1. Checar la calidad, acabado y funcionamiento del material a inspección.
2. Verificar que la información de Ingeniería de Diseño esté com---pleta y al día.
3. Mantener el equipo de medición y prueba en condiciones óptimas de trabajo.
4. Clasificar y evaluar de acuerdo a su calidad a todos y cada uno

de los proveedores.

5. Solicitar a Laboratorio Pruebas de Materiales de calidad dudosa.
6. Activar resultados de prueba de laboratorio.

DIAGRAMA DE PROCESOS DE FABRICACION



* AREA CON INSPECTOR DE LINEA

TANQUE:

(Maquinado, Soldadura y Pintura): El transformador consta básicamente de un tanque con cubierta soldada o atornillada, integrado -- con un gabinete desmontable provisto de puertas, con seguro para -- candado, las cuales sirven como acceso a los pánels de alta y baja tensión. Dichos pánels se encuentran debidamente identificados en un lado del transformador que sirve como frente propiamente dicho.

En la fabricación del tanque se utiliza lámina rolada en caliente -- de la más alta calidad cuyo espesor será de 3/16 ", para la base -- del mismo será de 1/2 " de espesor y para el gabinete de 3/32 " de espesor.

El inspector al llegar la lámina al Area de Maquinado verifica la -- calidad de la misma, checando dureza y espesor, al mismo tiempo cor -- tar una muestra adecuada y la dobla hasta formar un ángulo de 90°; -- si al alcanzar el ángulo requerido la lámina no sufre deformación -- alguna, quedará lista para troquelarse, doblarse y punzonarse, etc.

Antes del inicio del proceso, el inspector revisa la información de Ingeniería decidiendo si se puede iniciar la manufactura del tanque y demás partes.

La herramienta de trabajo del inspector será la siguiente:

Escala de 0 - 12" y de 0 - 36"

Calibrador Vernier de 6" ó 12"

Flexómetro de 3 metros

Gage de radios

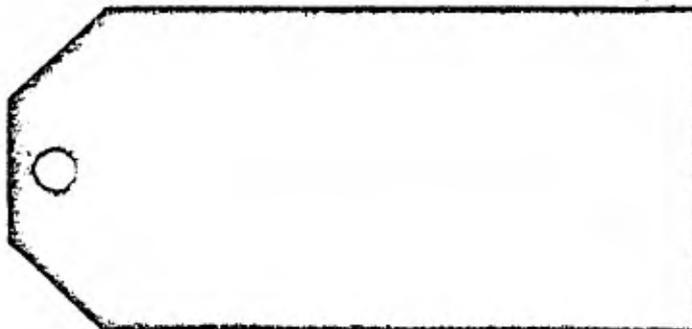
Micrómetro para exteriores

Durómetro portátil para checar dureza Rockwell

Dibujo de partes y ensamble del tanque

La primera etapa de inspección será el chequeo del trazo, el cual - queda sujeto a tolerancias de dibujo.

Es obligación del inspector checar la preparación de la herramienta a utilizar así como la primera pieza o parte fabricada; si existiese algún defecto ocasionado por la herramienta utilizada, se dará a viso inmediato al Departamento de Ingeniería de Manufactura para -- proceder a la reparación de la herramienta. Esto se hace por medio de una Tarjeta de Herramienta Defectuosa de Control de Calidad.



Una vez aceptada la primera pieza durante el proceso de maquinado, el inspector patrulla todas y cada una de las máquinas que están - trabajando en la fabricación del tanque.

Cuando las partes maquinadas han sido checadas se procede al ensamble del tanque donde se requiere de soldaduras eléctricas y dado -- que actualmente en la industria se cuenta con los métodos más modernos para soldar, se pueden lograr uniones prácticamente exentas de porosidades que no permitan fugas de aceite; por lo tanto, se verificará que el tanque lleve un solo cordón de soldadura sin interrupciones, sin escorias y sin perforar las paredes del mismo. Los componentes del tanque tales como: orejas de levantamiento, soporte de placas de datos, coples para filtros prensa, placa de tierra, gan--chos de levantamiento, etc., serán objeto de una inspección minuciosa y deberán cumplir con las especificaciones de Ingeniería de Diseño, así como de su localización de acuerdo a normas nacionales.

En general el inspector del área antes de dar por aceptado un tan--que para seguir el proceso de limpieza, deberá haber checado los siguientes puntos:

Soldaduras defectuosas

Subensamble fuera de lugar o equivocado

Punteado defectuoso

Placas o láminas fuera de planicidad

Soldadura con escoria

Falta de soldadura

Partes fuera de escuadra

Puertas caídas o forzadas

Bisagras fuera de lugar (flojas)

Contorno general fuera de medida

Mecanismos de trabado de puertas, incorrecto

Piezas oxidadas

Pernos nelson equivocados (fuera de lugar)

Fugas en tanque

Fugas en radiadores, etc.

Limpieza por el proceso de chorro de arena (Grit Blast).

PROCESO:

Ataque con granilla de acero a través de pistola neumática con una presión de aire de 80 a 90 Lbs/pulg.²

Para este acabado o limpieza existen tres tipos de boquillas de acuerdo a las necesidades del producto.

Boquilla de 1/4" requiere 85 pies³/min - compresor de 20 HP

Boquilla de 3/8" requiere 180 pies³/min - compresor de 40 HP

Boquilla de 1/2" requiere 340 pies³/min - compresor de 65 HP

MEDIDA DE ABRASIVO:

Esta medida difiere en función del diámetro de la boquilla y en forma proporcional al diámetro máximo de éste, tomando de referencia 1/4 del diámetro de la boquilla.

Ejemplo: Boquilla de 1/4" diámetro máximo 1/16", dentro de lo estipulado las dimensiones de malla del grano, varía de 16 a 25 máximo y mínimo respectivamente.

Como es de suponer el ataque con granilla produce rugosidad en el material al limpiar, la profundidad máxima de ataque es directamente proporcional al tiempo y tipo de material sometido al proceso; para lo anterior tenemos como referencia una profundidad máxima de 0.010".

CAPACIDAD DE LIMPIEZA:

Referencia 80 PSI (Lb/presión)

Boquilla 1/4 se limpia 1 pie²/min

Boquilla 3/8 se limpia 2 pies²/min

Boquilla 1/2 se limpia 4 pies²/min

PRUEBA DE FUGAS:

Una vez terminado el proceso de limpieza se procede al chequeo de fugas. En algunas empresas se utiliza el proceso de agua y presión de aire, pero en nuestro caso, utilizamos un líquido rojo (Turco -- Dy-Check Penetrante) de alto poder penetrante que se aplica sin dilución directamente sobre las superficies a inspeccionar, previamente limpias de grasas, polvo, etc., dejándolo actuar por tiempos según la temperatura ambiente, es decir:

Temperatura ambiente menor de 10°C: de 30 a 45 minutos.

Temperatura ambiente menor de 10 a 20°C: de 10 a 20 minutos.

Temperatura ambiente menor de 25 a 50°C: de 5 a 10 minutos.

Una vez que se ha aplicado e impregnado el líquido rojo, se aplica un segundo de color blanco (Turco Dy-Check Revelador) del lado contrario donde se aplicó el primero. Si existiesen rajaduras, poros o grietas, aparecerán manchas de color rojo perfectamente visibles.

Cuando el tanque ha quedado debidamente inspeccionado para el área de pintura donde se verifica que está en condiciones de limpieza óptimas, para empezar el proceso de pintado.

Una de las preocupaciones del Departamento de Control de Calidad, es la de proporcionar un acabado perfecto, ya que el tanque es la parte del transformador que estará expuesta al medio ambiente, que es el enemigo principal de un acabado en mal estado. Para la inspección es conveniente que el inspector tenga los siguientes aparatos de trabajo:

1. Copa ZHan # 2, para checar viscosidad.

2. Elcómetro, para chequeo en espesores de pintura.
3. Termómetro, para checar tiempos de secado y viscosidad.
4. Rayador, para checar adherencia de pintura.

De acuerdo a las Normas Nacionales los Transformadores (Residencial) deberán ser pintados con pintura Epóxica, la cual deberá reunir los siguientes requisitos:

- a) Excelente adherencia sobre cualquier metal, madera, cerámica y distintos plásticos.
- b) Excelente elasticidad.
- c) Excelente brillo.
- d) Excelente resistencia al agua.
- e) Excelente resistencia a los álcalis.
- f) Buena resistencia a los ácidos.
- g) Resistencia al calor hasta 130°C.
- h) Excelente resistencia a la abrasión.

Al aplicar el primario (Primer) se checará que el aplicado sea uniforme y que carezca de escurrimientos y que cumpla con el espesor - adecuado 0.0015". Una vez cumplidos estos requisitos, se procederá a la aplicación del secundario donde el inspector debe haber checado la viscosidad. Cuando se ha terminado este paso irá inmediatamente al horno de secado, el cual trabaja a una temperatura de 135° centígrados a 140°C durante 25-30 minutos. Al término del horneado, el tanque no deberá presentar: pintura con escurrimientos, porosidades, rayones, coloramientos amarillentos por exceder el calor del horno, etc. Esto se verifica visualmente y manualmente se checará - que el espesor de pintura no exceda de 0.005" \pm 0.001" y que la ---

adherencia sea la adecuada. Para ésto, se utilizará un rayador de cuchillos afilados perfectamente con el fin de que la hoja penetre lo más cerca posible a la lámina. Una vez rayado en forma de cuadro se pega una cinta adhesiva y se levanta de golpe quitando únicamente la pintura marcada por los cuchillos. Checada la calidad de la pintura se procede a marcar o pintar el ESTAMPADO (capacidad y nomenclatura), lo cual deberá cubrir lo especificado en las normas, es decir:

1. Números y letras visibles y sin faltas de ortografía.
2. Números de catálogos de fusibles y seccionadores, de acuerdo al usado en el transformador; nunca otro parecido.
3. Polaridades y capacidades con letra MAYOR, ES DECIR, DEBERAN SER MAS VISIBLES QUE EL RESTO DE LAS LEYENDAS ESTAMPADAS EN EL TANQUE.

Una vez terminado ésto, se dará una última checada al tanque, solicitando que sea sopleteado y quitadas las guardas que cubren placas de tierra, cuerdas de tornillos y barrenos machuelados. Cumplido este requisito, el tanque quedará a disposición del área de ensamble final.

NUCLEO (Proceso de fabricación del núcleo):

El núcleo como todas y cada una de las partes del transformador es requerido de un control de calidad óptimo.

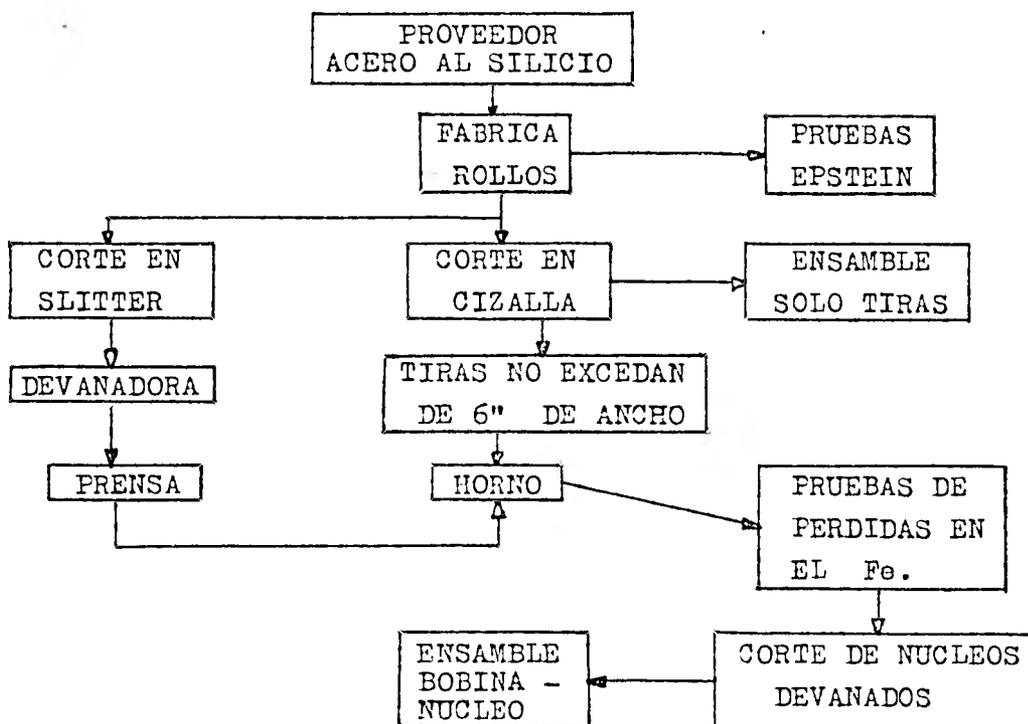
En la actualidad los principales productores de aceros que suministran este material a los fabricantes mexicanos de transformadores son:

1. Armco Steel Corporation, E.U.A., OHIO.
2. United States Steel Co., E.U.A.. PITTSBURGH.
3. Allegheny Ludium Steel Co., E.U.A., PITTSBURGH.
4. Campagnie Des Forges de Chatillon, Comentry and Nuever, Maison, PARIS, FRANCIA.
5. Yamata Iron and Steel, Ltd, Tokio, JAPON.

Todos los fabricantes tienen un control muy estricto en sus procesos de fabricación, corroborando ésto con certificados de prueba en cada bulto y/o rollos embarcados. Su producto lo pueden suministrar en rollos desde 5.1 a 86 cm (2 a 34 pulg.) de ancho y 4 toneladas de peso con espesores de 0.011", 0.012", 0.014" y 0.025", con aislamientos a base de magnesio y ácido fosfórico, denominado carlita o vidrio que es silicato de magnesio. En algunos casos el acero llega en hojas con máximo de 86 X 300 cm (34" X 120") con los mismos espesores del que viene en rollos.

Para la fabricación de núcleos devanados se suministra en rollos -- por tener la Forma Curva, es decir, que cuando se desenrolla, no toma la forma plana, lo que ayuda considerablemente en los procesos de manufactura.

SECUENCIA DEL PROCESO DE FABRICACION
DE NUCLEOS MONOFASICOS Y TRIFASICOS.



Una vez que se tienen los rollos en fábrica Control de Calidad procede a clasificarlos de acuerdo a su certificado de prueba identificándolos de la siguiente manera:

Lote 1.- Serán aquellos rollos cuyo valor de certificado sea de -- 0.92 W/Kg o un valor mayor. Este tipo de rollos se identificarán -- con una tarjeta de papel adherible de un color determinado (rojo), y dicho acero se utilizará sólo para transformadores con garantías de pérdidas de hierro no penalizados.

Lote 2.- Serán aquellos rollos cuyo valor de certificado sea de -- 0.91 W/Kg máximo, identificándose de la misma manera que los rollos del lote 1, sólo que la tarjeta será de color verde. Con este acero se fabricarán todos los núcleos de pérdidas garantizadas como son - los de C.F.E., Cía. de Luz, PEMEX y en algunos casos, clientes in-- dustriales.

Corte de acero para núcleos devanados.- Para este tipo de núcleos, el acero se cortará en forma de pequeños rollos en una máquina ---- Slitter. Al procesarse un rollo en esta máquina, se deberán tomar - en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Los rollos resultantes se deberán identificar con el mismo color del rollo que se cortó.
- b) Los rollos resultantes se deberán identificar con el mismo número de rollo con que viene marcada de fábrica la envoltura de cada uno de éstos.
- c) El espesor del acero no deberá tener variaciones mayores de -- +0.001" y - 0.0015" mínima.
- d) La variación a lo ancho por cada 96" de longitud será de ----- + 0.007" máxima y - 0.015" mínima.
- e) La rebanada originada por el proceso de corte no debe ser mayor de 0.005"; si la hubiere, deberá mediante el planchado de los rodillos al devanar el núcleo, bajar a la tolerancia máxima de 0.001".
- f) Los discos de corte de la máquina (Slitter) se cambiarán des-- pués de cortar cuatro toneladas, pero esto queda sujeto al tamaño de la rebanada.

Para el chequeo inicial, el inspector de Control de Calidad deberá utilizar una escala de 12" para checar el ancho de la tira y de un micrómetro para checar el espesor de la lámina y el tamaño de la rebanada.

Al terminar de cortar el rollo a las dimensiones deseadas, se procede a devanar el núcleo de acuerdo a los pesos y dimensiones solicitados por Ingeniería de Diseño, cuidándose que el rollo no esté golpeado o que haya sufrido raspaduras durante el proceso de corte.

PROCESO DE DEVANADO DEL NUCLEO:

Para la fabricación del núcleo devanado se deberá contar con una máquina adecuada como la que se describe a continuación:

Máquina de dos portarollos rebabeadores y sistema de frenado con -- presión máxima de 80 Lbs./pulg², con rodillos planchadores para admitir acero hasta de 9" de ancho y con una velocidad máxima de 60 - R.P.M.

Volteo de portarollos de 30" contando con los siguientes accesorios:

- a) Báscula con capacidad de 500 Kgs.
- b) Grúa viajera con capacidad de 3 toneladas.
- c) Prensa hidráulica con capacidad de 50 tons. para dar la forma mediante hormas y mandriles.
- d) Extractor neumático de hormas.

Secuencia de operaciones a checar por Control de Calidad:

- a) Checar que la tensión al iniciarse el devanado hasta la mitad del espesor (aproximadamente) total del núcleo sea de 80 Lbs. y 40 R.P.M. y la segunda mitad con 60 Lbs. a la velocidad máxi

ma de la máquina.

- b) El Control de Calidad del núcleo se llevará a cabo verificando espesor, número de vueltas y peso medio.
- c) El espacio entre lámina y lámina se dará con hilo de aproximadamente 0.006" de diámetro, quedando de 0.001" al quedar comprimido; este hilo deberá colocarse de la siguiente manera:

Una cuarta parte del devanado llevará un hilo al centro y las 3/4 partes restantes deberán llevar dos hilos en los extremos con el fin de evitar que se presenten espacios perdidos en el ensamble del mismo.
- d) Todas las abrazaderas para dar forma al núcleo serán de bajo contenido de carbón 0.5% máximo.

Una vez sacado el núcleo de la máquina devanadora, queda listo para el siguiente proceso.

HORNEADO:

El objetivo del horneado de un núcleo es orientar los granos de acero al silicio alterados durante el proceso de corte por haber sido sometido (el núcleo) a esfuerzos mecánicos a la vez que se mejoran las pérdidas del hierro.

Características del horno:

Tipo "Batch".

Capacidad nominal de 4 toneladas.

Capacidad neta de 3 toneladas.

Capacidad promedio de carga de 2.5 toneladas.

Dimensiones interiores 26 1/2" de ancho, 77" de largo y 27" de alto.

Temperatura máxima de calentamiento de 980°C.

Velocidad de calentamiento con capacidad neta de 160°C/hora.

Velocidad de enfriamiento con capacidad de 17°C/hora.

Equipo de control de horno, con potenciómetros registradores de gráfica rectangular con termopares en la parte superior e inferior del horno, potenciómetros de protección e interruptores de encendido y apagado.

Secadores de gas Marca "INGERSOLL RAND" con capacidad de 3000 pies³ por hora respectivamente para bajar el punto de rocío hasta - 50°C con motores monofásicos de 115 volts, 50/60 Hz.

Secuencia de inspección que efectua Control de Calidad en cada horneado:

- a) Checar que los carros se carguen uniformemente dejando espacio al centro para librar los refuerzos de la campana y checar que no exceda de su capacidad.
- b) Checar que los núcleos en ningún caso soporten más de tres veces de su peso durante el horneado.
- c) Como el sello del horno en nuestro caso es de arena, checar -- que dicha arena esté limpia y seca, y sin materiales que puedan estorbar la penetración de las navajas selladoras.
- d) Verificar que con los núcleos a procesar entre una muestra de acero al silicio de 3 X 28 cm. cortadas en sentido longitudinal del rollo con un peso de 2 Kgs. y otra con las mismas dimensiones pero cortada en forma transversal, estas muestras -- servirán para verificar calidad en el Marco "Epstein".
- e) Verificar que el calentamiento inicial sea de 120°C por hora -

hasta obtener la temperatura de normalizado de 820°C verificando que los núcleos de la parte baja del horno no tengan una temperatura menor de 800°C. Esto se checa por medio de un termopar adherido directamente a algún núcleo acomodado en la parte baja.

- f) Transcurrido el tiempo de normalizado se deberá checar que las resistencias calefactoras sean apagadas para poder empezar el ciclo de enfriamiento. Una de las partes más importantes que Control de Calidad debe vigilar es la velocidad de enfriamiento, ya que de esto depende en buena parte el resultado en lo que a pérdidas en el fierro se refiere. Al abatir la temperatura a una velocidad entre 15°C y 22°C por hora, nunca más de 25°C, se estará cubriendo la primera etapa de enfriamiento hasta llegar a 760°C y desde esta temperatura hasta 500°C. La velocidad de bajado del carro será de 44°C/hora.

Una vez que la temperatura ha llegado a 450°C, se baja la carga cambiando los volúmenes de aire-gas en el interior del horno.

Existe otra forma de enfriamiento que es a base de campanas de fierro con bajo contenido de carbón; en este método, el bajado del carro es más rápido necesitando sólo la mitad del tiempo para tener los núcleos disponibles para prueba.

PRUEBA DE NUCLEOS MONOFASICOS (DEVANADOS):

Una vez que los núcleos han sido procesados térmicamente y han alcanzado la temperatura ambiente, se procede a efectuar la prueba de pérdidas en el fierro.

Existen dos métodos de prueba para este tipo de núcleos:

Exacto y Aproximado.

PROCESO DE TRATAMIENTO
 TERMICO DE NUCLEOS
 DEVANADOS

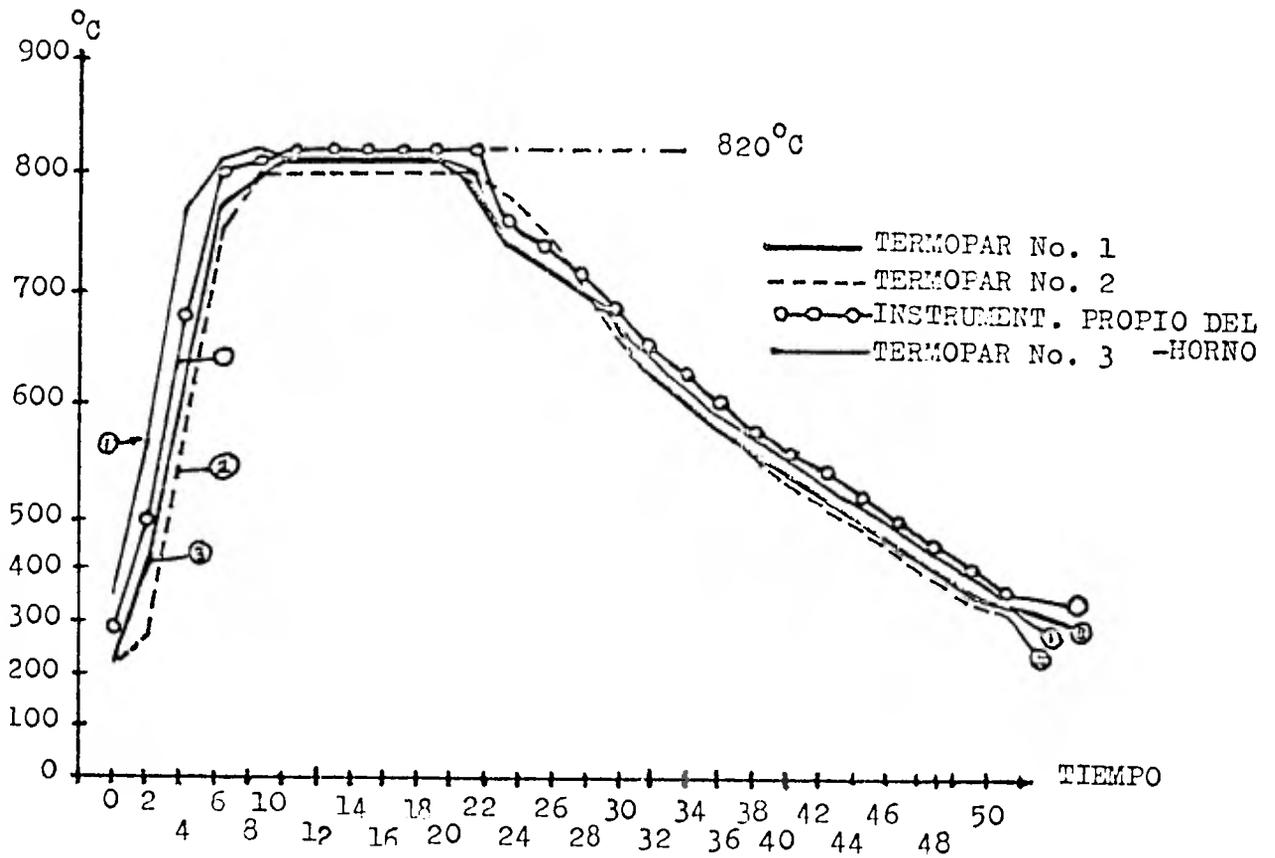


FIGURA 26

Para que Control de Calidad pueda llevar a cabo dichas pruebas, Ingeniería de Diseño debe proporcionar los siguientes datos:

V/T = Volts por Vuelta.

B = Densidad de flujo en kilogausses.

Watts = límite

W/Kg

Límites de W/Kg.

Frecuencia.

KVA

Area.

Peso.

No. de dibujo o especificación.

METODO DE PRUEBA APROXIMADO:

Este método es el que se utiliza normalmente y consiste en aplicar al núcleo los V/T que da Ingeniería de Diseño pudiendo variar el área y la densidad de flujo de núcleo a núcleo, clasificándolos de acuerdo al resultado de sus pérdidas y apareándolos cuando sea necesario para tener un total de pérdidas en el hierro balanceadas.

El método más usado en prueba de acero al silicio es el conocido como prueba en Marca Epstein de 25 cm. Tipo B-EP25.

Este equipo es del tipo de instrumentos de magnetización característica de láminas de acero. Tiene varias ventajas con respecto a cualquier Marco Epstein convencional de 50 cm. y ha sido adoptado como estándar por la American Society of Testing Material (ASTM) por reunir las siguientes características:

- a) Requiere menor cantidad de acero para la prueba (menos de 2 Kg) en comparación con los 10 Kg que se requieren para el de 50 cm.
- b) Sirve para medir no sólo pérdidas en el fierro sino también la permeabilidad.
- c) La medición de pérdidas puede ser obtenido en base a la máxima densidad de flujo B o a la máxima fuerza de magnetización H.
- d) Se tiene menos error por distorsión en forma de onda.
- e) Está compensado contra influencias de dispersión de flujo de las bobinas de medición.

CONSTRUCCION:

El equipo completo de medición se compone de las siguientes partes:

Marco Epstein de 25 cm.

Wáttmetro.

Vóltmetro de valor eficaz.

Vóltmetro de flujo.

Ampérmetro de valor eficaz.

Inductor.

Frecuencímetro.

El Marco Epstein tiene en su interior un arreglo de 4 pares de bobinas de medición, conectadas en serie cuatro a cuatro formando el -- primario y el secundario, los cuales a su vez también se conectan - en serie con las bobinas compensadoras de inductancia mutua que se encuentran en el centro del marco; las bobinas del primario son las llamadas "H" o de excitación y las bobinas del secundario, bobinas "B" o de voltaje.

Proceso de obtención de pérdidas en el fierro con un valor dado de B.-

Cerrar el switch S_1 hacia el voltmetro de flujo o lado 2 y cortocircuitar la inductancia mutua cerrando el switch S_3 .

Para permitir la operación del ampermetro de valor eficaz A, wátmetro W, Voltmetro de valor eficaz U y Voltmetro de flujo V_f , se deberán abrir los switches S_2 y S_4 . Después de esto, ajustar la fuente de tensión al valor del voltaje de flujo verificando que cumpla la relación, ejemplo: contra un valor dado B según la expresión:

$$E_f = \frac{4.44 f N_2 A B}{10^5} \text{ -----(1)}$$

En donde:

f = frecuencia en Hz/seg.

N_2 = 700 ó número de vueltas de la bobina "B".

A = Area transversal de la muestra en cm^2 ; esta área puede ser calculada si se pesa la muestra al Marco y si se conoce su gravedad específica:

$$A = \frac{1000 M}{4 l D} \text{ ----- (2)}$$

En donde:

M = Peso total de la muestra en Kgs.

l = 28 cms., longitud de la muestra.

D = Muestra en gms./cm^3 (gravedad).

El voltaje que deberá leer el voltmetro de flujo para una B dada, - será aquel que se haya calculado con las expresiones (1) y (2) cuando se haya obtenido para W un rango de mediciones aproximado -- por indicación del ampermetro, éste se pondrá en cortocircuito du-- rante la medición, cerrando el switch S₂.

Sean las lecturas W, V, W₂ y E respectivamente, cuando V_f haya sido ajustado al valor E_f.

W₂ incluye pérdidas del circuito secundario, además de las pérdidas en el hierro, las cuales se pueden separar por el siguiente procedimiento:

Sean:

r_w = resistencia interna de la bobina de tensión del wáttmetro.

r_v = resistencia interna del voltmetro V.

r_{vf} = resistencia interna del voltmetro V_f.

Estos son los valores medidos de resistencia interna entre termina- les, es decir, que las pérdidas totales del circuito secundario, -- son las siguientes:

$$\frac{E^2}{R} = \frac{E^2}{r_w} + \frac{E^2}{r_v} + \frac{E^2}{r_{vf}} \quad \text{----- (3)}$$

De la ecuación anterior las pérdidas de hierro se pueden obtener -- por:

$$W_1 = W_2 - E^2 / R \quad \text{(watts) ----- (4)}$$

En donde:

w₂ = potencia leída en el wáttmetro.

E = lectura del voltmetro de valor eficaz.

R = resistencia equivalente del circuito en paralelo del secundario compuesto por las resistencias internas del wattmetro y de los dos voltmetros.

En seguida se calcula el peso efectivo de la muestra en Kg. también y por la longitud del circuito magnético de acuerdo a la siguiente expresión:

$$m_1 = \frac{ml_1}{4L} = 0.84 m \quad \text{---- (5)}$$

Donde:

m_1 = peso efectivo de la muestra (Kg).

m = peso real de la muestra (Kg).

l_1 = 94 cm., longitud del circuito magnético.

L = 28 cm, longitud real de la muestra.

De estas ecuaciones se obtienen las pérdidas en el fierro en W/Kg quedando de la siguiente manera:

$$W/Kg = \frac{W_1}{m_1} \quad \text{----- (6)}$$

El factor de forma de onda (ff) de voltaje secundario inducido en el circuito de pérdidas en el fierro está dado por:

$$ff = 1.11 \times \frac{E}{E_f}$$

E = lectura del voltmetro de valor eficaz V en el circuito secundario.

E_f = lectura del voltmetro de flujo V_f en el mismo circuito.

Si la relación E excede de 1.01, las pérdidas en el fierro estándar W_0 para una onda sinusoidal pura, se calculará como el resultado f_i

nal que se persigue mediante la siguiente expresión:

$$W_o = \frac{W_1 \times 100}{h + \left(\frac{E}{E_f}\right)^2 e}$$

$h = 80 \%$

$e = 20 \%$

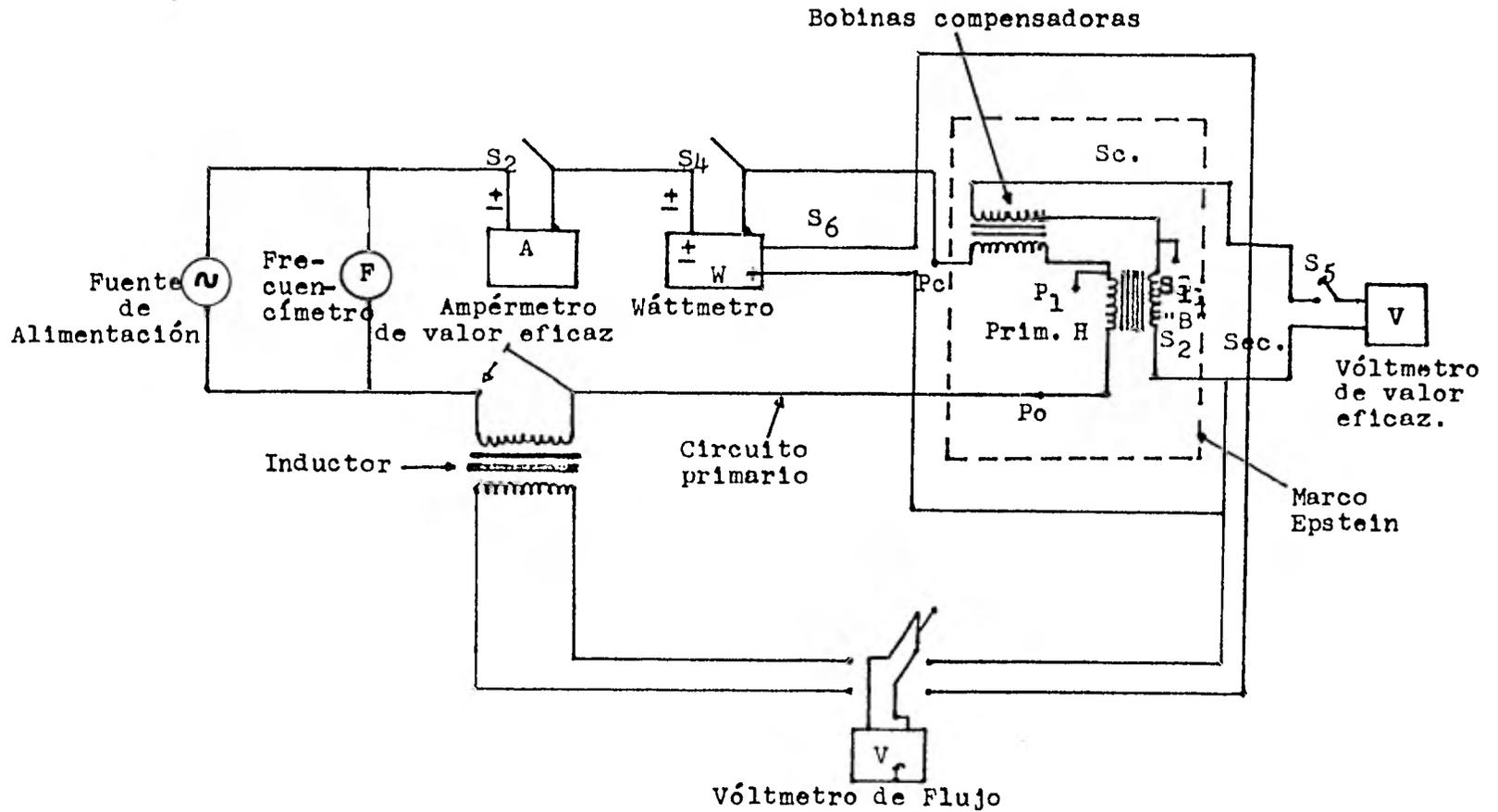
W_1 = Pérdidas en el fierro corregidos por tara

h = Porcentaje de pérdidas debidas a histéresis del total de la pérdidas en el fierro.

e = Porcentaje de pérdidas debidas a corrientes de Eddy del total — de pérdidas en el fierro.

DIAGRAMA DE MEDICIONES UTILIZANDO
MARCO EPSTEIN

(PERDIDAS DE FIERRO)



- 66 -

Figura 27

FIGURA 28

REPORTE DE PRUEBAS EN MARCO EPSTEIN

| CARACTERISTICAS DEL EQUIPO | | | | | | CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA | |
|----------------------------|-------|------|------|-------|-------|--|--|
| INSTA MENTO | MARCA | TIPO | ESC. | R int | SERIE | | |
| W _m | | | | | | Acero al silicio__ Marca__ | |
| Amp | | | | | | Pedido_____ Densidad_____ G cm ³ | |
| V _{mf} | | | | | | Espesor_____ Rollo_____ | |
| VM _{rms} | | | | | | Carga_____ Horno_____ | |
| | | | | | | Peso Real_____ Kg Peso Neto_____. | |

TABLA DE MEDICIONES

| Hz | Kilo Gauss | Voltme- tro V | Wattmetro | | | | W W ₂ | P _r TARA | WATTS NETOS | | W/Kg | | | |
|----|---------------|---------------------|-----------|-----|---------|---|---------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------|-----|
| | | | rms | rms | Bobinas | W | | | K | W ₁ | W ₀ | Pér- di- das. | LIMITES | |
| | | | | | V | I | | | | | | | CERT | CAT |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | | |

CALCULOS

| CORRECCION PARA TARA | CORRECCION POR FORMA DE - - ONDA. | W/Kg |
|--|---|--|
| $W_1 = W_2 - P_r \text{ -----(1)}$ $\frac{P_r}{R} = E^2 (Rn^{-1} + r_u^{-1} + r_{uf}^{-1}) \text{ -----(2)}$ <p>En donde:</p> <p>W₁ = watts corregidos por tara.</p> <p>W₂ = watts leídos.</p> <p>P_r = tara</p> <p>E = voltaje eficaz</p> <p>R = resistencia equiv. del paralelo.</p> <p>r_w = resistencia interior wattmetro.</p> <p>r_u = Resistencia int. VM rms.</p> <p>r_{uf} = resistencia interna V_{mf}</p> | $W_0 = W_1 (100) / (h + E/E_f e)$ <p>En donde:</p> <p>W₀ = watts corregidos por forma de onda.</p> <p>W₁ = watts corregidos por tara.</p> <p>h = % de pérdidas por histéresis (80%).</p> <p>e = % de pérdidas por corrientes de Eddy (20%).</p> | $\frac{W}{Kg} = \frac{W_0}{P_e}$ $\frac{W}{Kg} = \frac{W_1}{P_e}$ <p>En donde</p> <p>P_e = Pe so e fec-tivo</p> |

FECHA _____

PROBO _____

CALCULO _____

PROCESO DE FABRICACION DE BOBINAS:

Como en cada uno de los diferentes procesos de fabricación, Control de Calidad, desempeña un papel muy importante en la manufactura de bobinas.

En General Electric en particular, se diseña en base a 3 tipos de - forma de bobina:

- a. Cilíndrica.
- b. Rectangular Continua.
- c. Rectangular Seccional Continua.

Existen otros tipos de bobinas en la industria tales como:

- a. Bobinas elicoidales.
- b. Bobina doble elicoidal.
- c. Bobina tipo anillo o paquete.

Para transformadores tipo Residencial, utilizamos bobinas rectangulares continuas, debido a su fácil ensamble y a la forma del núcleo devanado.

Antes de empezar a devanar una bobina, el inspector del área deberá iniciar la inspección de:

- a. Información de Ingeniería.
- b. Materia prima.
- c. Maquinaria a utilizar.

El inspector de Control de Calidad se auxiliará del siguiente equipo de pruebas e instrumentos para la inspección:

1. Flexómetro (dos metros).
 2. Escala de acero indicada hasta 72 pulgadas,
 3. Calibrador Vernier.
 4. Compás de exteriores.
 5. Compás de interiores.
 6. Micrómetro para exteriores de 0 - 1".
 7. T.T.R. (medidor de relación de vueltas).
 8. Multitester (analizador).
 9. Mesa de prueba para checar probables cortocircuitos.
- a) Información de Ingeniería.- El chequeo de dicha información es muy importante porque se pueden detectar errores de impresión o de cálculos de Ingeniería, por lo tanto, el inspector deberá -- constatar que la suma de componentes de la bobina coincida con las dimensiones dadas. También con esta información se selecciona el material a utilizar así como los esquemas de bobinas requeridos para la localización de salidas de puntos y derivaciones, así como la rotación del devanado.
- b) Materia Prima.- La materia prima a checar en una bobina es solera de cobre electrolítico para bobinas de baja tensión y el conductor de cobre redondo para bobinas de alta tensión, en ambos casos, aunque Inspección de Recibo y el inspector de la Fábrica de Alambre ya constataron la calidad del alambre (conductor), será necesario recheckar las dimensiones de ambos casos así como la calidad del aislamiento cerciorándose que no presente raspaduras, grietas, rosarios o golpes por manejo. En caso de que existiera alguna duda, se sacarán muestras para hacer pruebas de potencial aplicado, así como de dureza e impregnación del aislamiento; ésto se hará dando varios doble

ces cuidando que el aislamiento no sufra desprendimiento de barniz ni rajaduras.

Otro de los materiales utilizados es el papel y cartón Craft; el cartón se utiliza para dar la forma de bobina, es decir, es la base; también se utiliza para separadores, ductos, collares y rellenos. El papel Craft se utiliza como aislamiento entre capas y aislamiento para salida de puntas y derivaciones. La inspección de este material deberá ser estricta cuidando que no presente grietas, rugosidades, asperezas, ondulaciones notables, etc. y deberán checarsse las dimensiones dando cuidado que no salgan de las tolerancias especificadas por Ingeniería de Diseño.

Algunos otros materiales como cintas de algodón y pegamentos deberán cubrir las especificaciones de calidad requeridas para poder ser usadas; aún así, el inspector tendrá la obligación de verificar que la cinta de algodón esté limpia, es decir, que no esté impregnada por agentes extraños tales como: rebabas de acero, carbón, etc. Los pegamentos serán de escaso contenido de agua ya que se corre el riesgo de que la humedad se encapsule y se exponga la bobina a una falla prematura.

- c) Maquinaria.- La maquinaria aunque existe un departamento que tiene la obligación de tenerlas en óptimas condiciones se servicio, también forma parte de un chequeo por parte de Control de Calidad, tal como el funcionamiento de contadores de vueltas, reguladores de tensores con la presión de aire adecuada para su buen funcionamiento, aditamentos para sujeción de formas de madera en buen estado para evitar la posible caída de la bobina en proceso.

Una vez checado lo anterior, se procede a devanar la baja ten

sión verificando que la primera capa sea cubierto con el número de vueltas especificado por Diseño y que la segunda capa y las restantes no sufran deformaciones por golpes de acentamiento y a su vez por lo antes dicho el conductor no deberá sufrir daño alguno. Cuidando al mismo tiempo las dimensiones entre capa y capa que no salgan fuera de especificación de diseño y que los ductos parciales o totales estén debidamente distribuidos, nunca juntos, ya que de ser así, el cálculo de enfriamiento sería nulo. Y como consecuencia se tendría un punto caliente en la o en las bobinas.

- 1) Bobinas de Alta Tensión.- Cada vez que se ha acabado de devanar una bobina de baja tensión, se procede a devanar la alta tensión colocando un cojín de papel Craft de espesor de acuerdo al voltaje de alta baja dado por Ingeniería de Diseño y verificado por el Inspector de Control de Calidad; cumplido esto, se procede de inmediato al devanado primario donde hay -- que tomar mayor precaución ya que en el caso de las bobinas de alta tensión, es fácil ver una falla de conductor por ser solera de cobre (debido al bajo voltaje y alta corriente) caso contrario la alta tensión donde el inspector deberá intensificar su tiempo de inspección para obtener una bobina de acuerdo a especificación de diseño.

En general, los puntos más importantes a checar son los siguientes:

- 1.- Medidas y calidad del conductor, como se mencionó anteriormente, la inspección visual del conductor es muy importante por lo que el conductor debe traer tarjeta de aceptación de pruebas iniciales en la fábrica del conductor, verificando que en el transporte no se haya golpeado ni raspado, para lo cual, si existe duda, se tomarán muestras de 10" de longitud y se les someterá a pruebas de alto potencial y de continuidad. Una vez

verificado ésto, se checará el aislamiento de alta tensión -- procediendo a devanar la primera capa cuidando que no existan rugosidades de papel y que el devanado sea uniforme y no queden vltaros que al devanar la siguiente capa se enterraría el conductor provocando una probable falla de cortocircuito entre espiras o entre capas.

Una vez que el número de capas solicitado ha sido devanado, - se checarán:

- a) Dimensiones de bobina-bajo hierro y sobre puntas.
- b) Resistencia óhmica de alta y baja tensión.
- c) Longitud de puntas y derivaciones.
- d) Collares de alta-baja no deteriorados por el proceso.
- e) Ductos no obstruidos y colocación de los mismos uniforme.

Checando lo anterior la bobina pasará a prueba de relación de transformación la cual se efectua utilizando un núcleo fabricado par tal efecto auxiliándose a la vez de un T.T.R. el --- cual nos dará un valor previamente calculado para verificar - si el número de vueltas del devanado es correcto. Si al pro-- bar la bobina se notara exceso de corriente de excitación, se procederá a hacer una prueba de potencial inducido aplicando el 20% de voltaje nominal a una frecuencia de 400Hz cuidando - de no excederse del voltaje aplicado porque se expondría la - bobina a un envejecimiento prematuro del aislamiento si la bo bina no presenta cortocircuito se detallará identificando --- puntas y salidas de derivaciones y pasará al siguiente proce- so (ensamble).

El inspector de devanados para poder llevar un control de calii

dad, deberá auxiliarse de tarjetas de patrulla y reportes de pruebas e Ingeniería de Diseño. Además, clasificará a los operarios de acuerdo a fallas localizadas durante el proceso de fabricación.

CONTROL DE CALIDAD DEVANADOS

| | |
|----|-----------------|
| DE | CARACTERISTICAS |
|----|-----------------|

BAJA TENSION

| ESPECIFICACION | ESQUEMA |
|--------------------|-------------------|
| DATOS DE DISEÑO | RESULTADOS REALES |
| DIM. B.H. | |
| DIM. S.P. | |
| CONDUCTOR | |
| DIAMETRO EXT. | |
| LARGO PUNTAS | |
| PESO KG. | |
| RESISTENCIA OHMICA | |
| T- | |

ALTA TENSION

| | |
|--------------------|--|
| DIM. B.H. | |
| DIM. S.P. | |
| DIAMETRO EXT. | |
| CONDUCTOR | |
| LARGO PUNTAS | |
| PESO KG. | |
| RESISTENCIA OHMICA | |
| | |
| | |

Cambios Diferentes a Especificación

RECORD DE PATRULLA

| INSPEC. | FECHA | HORA | A | R | CAUSA DEL RECHAZO |
|---------|-------|------|---|---|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

PROCESO DE ARMADO (ENSAMBLE FINAL):

En la sección de armado en ensamble, es el lugar donde se le dará forma a la parte activa del transformador.

En dicha sección se recibirán todos y cada uno de los materiales - procesados en las diferentes áreas alimentadoras, tales como: bobinas, núcleos, cabeceras superiores e inferiores, así como los aislamientos requeridos en el ensamble del conjunto interior.

De acuerdo a los materiales recibidos, el inspector del área será el responsable de verificar lo siguiente:

- a) Herrajes.- Al recibir el operario los diferentes herrajes que comprenderán el ensamble (abrazaderas, pernos, ángulos, soleras, tornillería en general, deberán traer etiqueta de aceptación color verde, lo cual indicará que todos los componentes metálicos pasarán por el proceso de limpieza (chorro de arena) además dichas piezas deberán carecer de polvo, mugre, rebabas u óxido que contaminarían el aceite aislante; de existir alguno de los elementos mencionados, se checará que el operario - limpie cuidadosamente las partes sucias con gas nafta para -- proseguir el ensamble.
- b) Lámina Aislante (Núcleo).- Al ser recibido el núcleo para su - ensamble se deberá inspeccionar que dicho núcleo no presente - golpes y que los costados de los paquetes devanados no estén - rayados, es decir que la carlita (aislante) no haya desaparecido, por correr el riesgo de que el núcleo quede en corto circuito entre espiras; será decisión del inspector, que se acepte o se rechace el núcleo o si las rayaduras existieran en una o dos espiras, dar la autorización para tirar las espiras dañadas. También será necesario verificar las dimensiones del núcleo para poder iniciar el ensamble núcleo bobinas.

c) Ensamble núcleo bobina.- Cuando se va a iniciar el ensamble - núcleo bobina, se debe inspeccionar si las bobinas no presen-- tan golpes por transporte. Una vez checado ésto, se iniciará - el ensamble, colocando los aislamientos requeridos; como siempre hay personal ensamblando varios conjuntos a la vez, el inspector debe patrullar el área asegurándose de que los aisla--- mientos no estén doblados ni obstruyendo ductos de enfriamien-- to. Una vez que se ha terminado el ensamble se colocarán los - herrajes de sujeción del núcleo, sin molestar los aislamientos procurando conservar las distancias para viva a tierra entre - núcleo y bobinas.

Posteriormente se aislarán las puntas de salida de alta y baja ten-- sión, con tubos de papel Craft de espesor adecuado a la tensión del transformador. Los conductores de alta y baja tensión serán solda-- das con soplete autógeno utilizando soldadura de plata para tener - resistencias de contacto de un valor despreciable evitando de esta manera probables puntos calientes. Una vez que el cambiador de derivaciones ha sido ensamblado y conectado, el inspector del área verificará que no exista carbón en los aislamientos de puntas soldadas; de ser así, se indicará al mayordomo para que se proceda a desalo-- jar el carbón existente. Cuando el conjunto ha quedado limpio, se - sopletea una vez más para retirar el polvo, rebabas de soldadura, - etc. Inmediatamente el inspector checará relación de transformación para verificar que las puntas y conexiones han sido ensamblados en el lugar adecuado y para certificar ésto, se checará resistencia -- óhmica, comprobando una vez más que todas las puntas y derivaciones fueron soldadas correctamente.

Terminado lo anterior, se procede a pasar el conjunto interior al - proceso de secado.

SECADO:

Antes de describir el proceso de secado será necesario mencionar -- los efectos de humedad en los aislamientos.

La humedad contenida dentro del aislamiento sólido, se puede visualizar en la forma de vapor suelto, contenido dentro de los conductos capilares del material. Esta condición tiene efectos muy importantes sobre diferentes características del aislamiento:

- a) La humedad aumenta el espesor de las fibras de la celulosa lo que se traduce en una variación de las dimensiones del papel o carbón, que tiene la característica de ser más importante en la dirección del espesor y del ancho, que en la dirección longitudinal de las fibras. Lo anterior debe tomarse en cuenta cuando se diseñan estructuras aislantes y tiene como resultado un encojimiento distinto en diferentes direcciones, cuando la humedad es extraída por cualquiera de los procedimientos conocidos.
- b) Acelera la degradación térmica del material, al aumentar el -- factor de potencia y las correspondientes pérdidas dieléctricas.
- c) Reduce la resistencia dieléctrica y, por lo tanto, el voltaje de perforación. Este efecto se acentúa notablemente para contenidos de humedad mayores del 3%.
- d) Más allá del límite de saturación del aceite, la humedad tiende a quedarse en forma de gotas de suspensión, que tienden a depositarse sobre las impurezas sólidas del aceite y bajo los efectos del campo, pueden conducir carga eléctrica y provocar la ruptura del aislamiento.

La siguiente figura nos dá una idea del efecto que causa la humedad sobre el voltaje de ruptura del aceite.

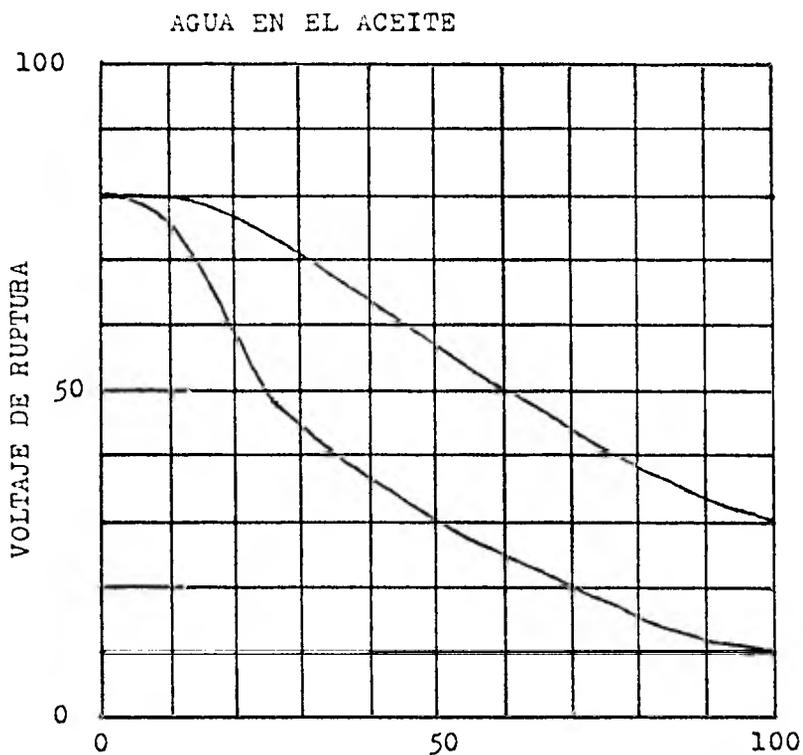


FIGURA
31

Al recibirse los aislamientos contienen humedad, gas e impurezas, - que puede tener efectos desfavorables, y los hacen por lo tanto inadecuados para operar en estas condiciones.

Durante la manufactura de los transformadores, los aislamientos están sujetos a condiciones que pueden empeorar sus características iniciales, sobre todo los aislamientos sólidos (aunque también en aceite), son muy susceptibles de adquirir humedad. La relación entre la humedad absorbida por un aislamiento sólido y la absorbida por -

el aceite del transformador bajo las mismas condiciones, es aproximadamente mil veces mayor en el aislamiento de un sólido (cartón).

El papel al terminarse el ensamble de un transformador, puede contener entre el 6 y el 12% de agua por unidad de peso de aislamiento -- en condiciones de humedad relativa entre 50 y 70%. En las mismas -- condiciones de humedad, el aceite contiene entre 50 y 100 gramos de agua por tonelada.

Las condiciones admisibles en un transformador nuevo son 0.5% de humedad en los aislamientos sólidos y 5 PPM en el aceite. De ahí la -- necesidad del proceso de horneado para secar los aislamientos.

Los procedimientos usados actualmente para secar transformadores en términos generales se clasifican en tres grupos:

Secado con aire caliente.

Secado con vapor solvente.

Secado con aceite caliente (transformador con carga).

El método más usado es el de aire caliente donde la presencia de -- oxígeno no permite usar temperaturas mayores de 90 - 140°C. Actualmente los transformadores (tipo Residencial - distribución) que se fabrican en la industria son de Clase 15 a 25 KV en el lado de alta tensión y 0.5 KV en el lado de baja tensión. Según esto, el ciclo -- de horneado de un transformador Clase 15 KV será de un tiempo de 8 horas a una temperatura de 120°C continuos; en los transformadores Clase 25 KV se prolonga el horneado durante 15 horas, verificando -- el inspector la hora de entrada y salida del conjunto interior del horno; una vez cumplido el ciclo de horneado, se tendrá que verificar que el tanque está en condiciones óptimas de limpieza para reci

bir el conjunto interior, mismo que se deberá apretar otra vez ya - que el calor aplicado hace que bajen las dimensiones iniciales del ensamble toda vez que se ha comprobado ésto, el tanque pasará a un recipiente de vacío (según el tamaño del transformador) para el im- pregnado y llenado de aceite.

Cuando la olla de vacío ha sido cerrada se aplicará el vacío por me- dio de una bomba centrífuga de vacío 0 - 760 mm Hg de capacidad. -- Cuando se ha cubierto de líquido aislante el conjunto interior se - checará que repose dentro de la olla por espacio de 15 minutos an-- tes de ser secado. Cuando el transformador no cabe en la olla de va- cío, se colocará la tapa superior y se sellará de tal manera que el conjunto interior quede perfectamente aislado del medio ambiente ex- terior, siendo responsabilidad del inspector checar que el aceite que está entrando al transformador esté a una temperatura de 70°C. El tiempo de reposo bajo vacío será de acuerdo a la capacidad del - transformador y a la clase de aislamiento del mismo. Después que el transformador ha reposado 8 horas mínimo, será necesario checar --- megger o medir factor de potencia para poder dictaminar si no se re- quiere un secado adicional, el cual de ser necesario se llevaría a cabo en pruebas finales.

ENSAMBLE FINAL:

Una vez que el transformador ha sido secado y colocado en su tanque, se procede a conectar y ajustar accesorios tales como: indicadores de nivel de aceite, seccionador, fusibles, manómetro, etc., ésto re- quiere de una inspección minuciosa por parte de Control de Calidad ya que el buen funcionamiento de los accesorios será la base princi- pal para la vida útil del transformador.

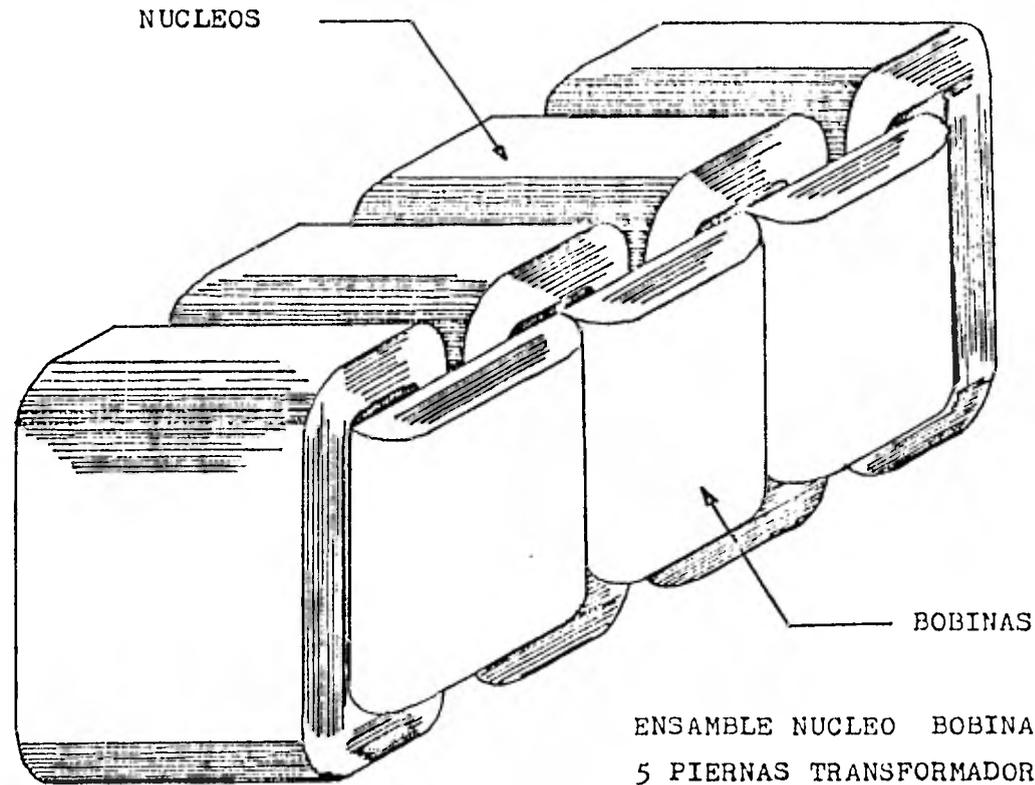
Antes de que el transformador pase al Piso de Pruebas, se checará - una vez más relación de transformación para verificar si el operario

no se equivocó en la colocación de puntas a boquillas de alta y baja tensión así como el ajuste del seccionador para el cual se medirá resistencia óhmica en los devanados de alta y baja tensión comparándolos con los datos de diseño. De existir una diferencia notable se revisarán soldaduras y puntos de contacto, así como el cambiador de derivaciones cuidando que las puntas de salida no estén cerca de el tanque o de algún herraje del núcleo lo cual podría ocasionar -- una falla de aislamiento a tierra; si se notase alguna distancia -- corta, se deberá de reforzar con aislamientos adecuadamente secos.

Cuando lo anterior ha sido revisado y cumple con las normas de Control de Calidad, se procede a sellar las tapas agujeros de mano y a plicar presión para checar que los empaques de hule silicón hayan quedado debidamente sellados y no podrá penetrar humedad al interior del tanque o en el último de los casos existir fugas de aceite por alguna soldadura mal aplicada y no detectada en el proceso de soldadura y acabados, la presión aplicada según normas CONNIE será de -- 7 Lbs. por un tiempo de 6 horas el cual la presión no deberá haber variado ± 1/8 de libra terminado ésto se hace una última inspección visual para verificar que el transformador lleva sus placas y conectores de tierra perfectamente apretados.

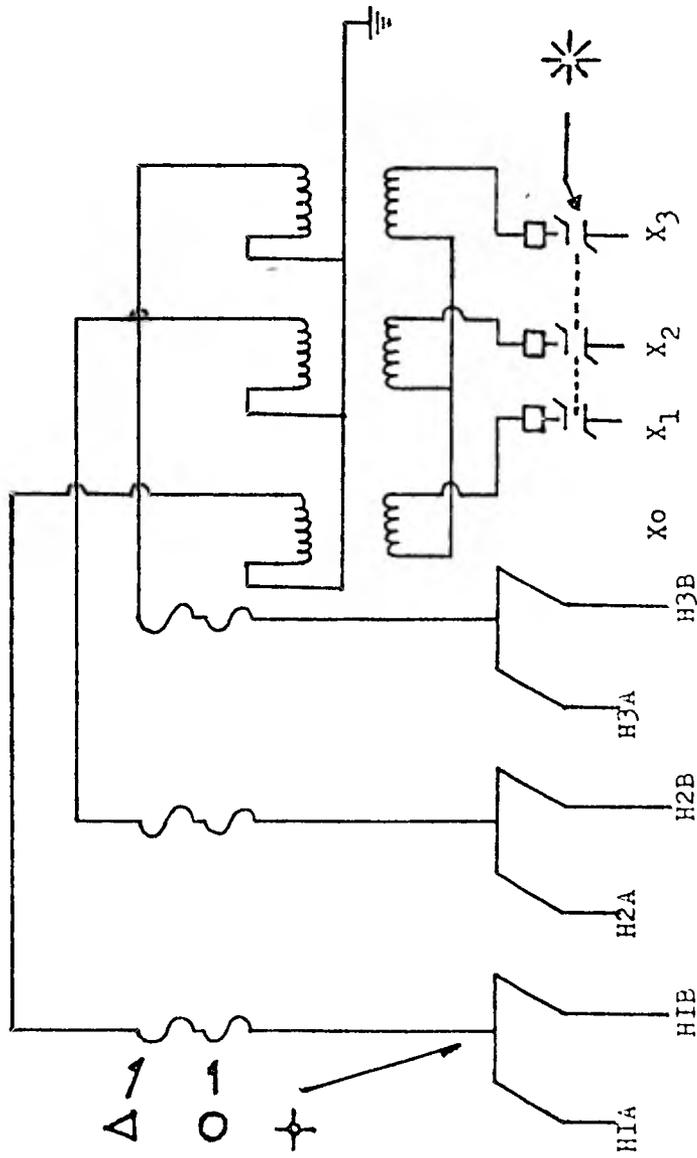
Cuando se ha verificado lo anterior, el transformador quedará listo para pruebas finales.

FIGURA 33



ENSAMBLE NUCLEO BOBINAS ARREGLO
5 PERNAS TRANSFORMADOR TRIFASICO

FIGURA 34



Δ.- FUSIBLE EXPULSION FALLA TRANSFORMADOR

○.- FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE 25000 AMPS. SIM.

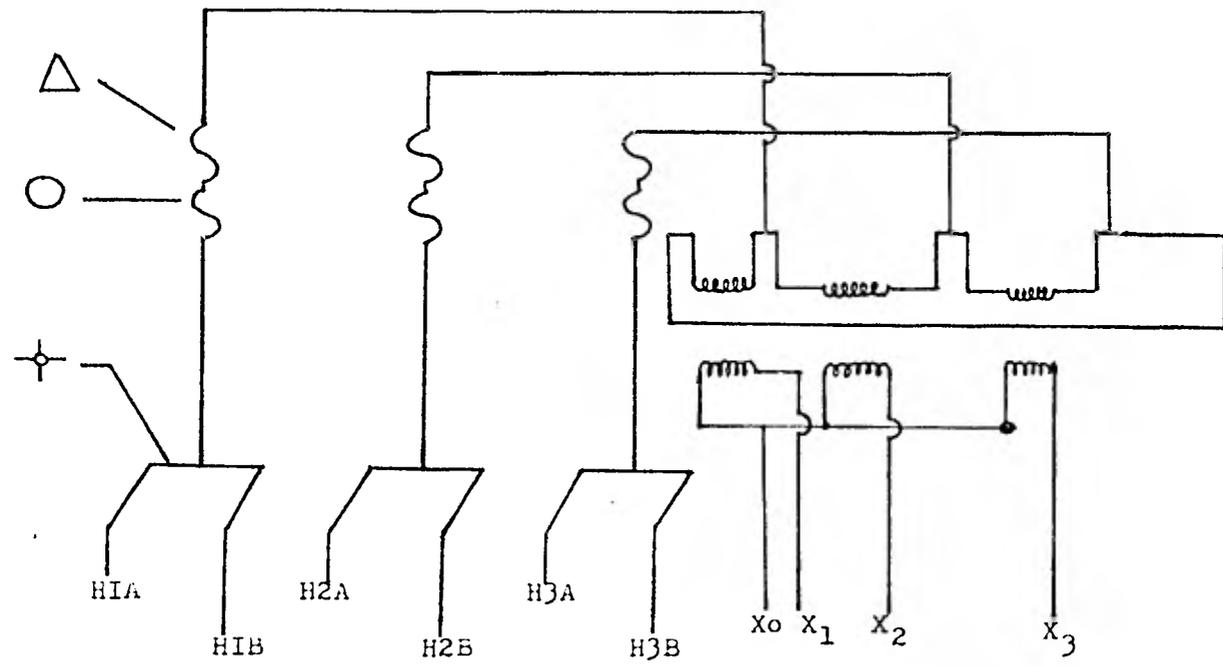
✦.- SECCIONADOR 4 POS. 200 AMPS.

*.- CORTA CIRCUITOS SECUNDARIO.

DIAGRAMA TRANSFORMADOR TRIPASICO CON
 PROTECCION DE TRANSFORMADOR Y LINEA
 OPERACION EN ANILLO CONEXION Y - Y .

FIGURA 35

- 116 -



- △ .- FUSIBLE BAYONETA SOBRECARGADA
 - .- FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE 25000 AMPS. SIM.
 - ⊕ .- SECCIONADOR 4 POS. 200 AMPS.
- DIAGRAMA TRANSFORMADOR TRIFASICO CON 2 FUSIBLES, OP. EN ANILLO, CONEXION V - Y

PRUEBAS FINALES:

Se consideran pruebas finales aquellas que se realizan en un laboratorio de máquinas de C.A., las cuales certifican la exactitud con que fue diseñado el transformador así como la calidad de mano de obra aplicada en la fabricación del mismo.

Las pruebas necesarias en un transformador de acuerdo a normas nacionales son las siguientes:

PRUEBAS DE AISLAMIENTO.-

- a) Resistencia de aislamiento.
- b) Rigidez dieléctrica del aceite.
- c) Potencial aplicado.
- d) Potencial inducido.
- e) Impulso.

PRUEBAS DE DISEÑO.-

- f) Relación de transformación.
- g) Pérdidas de excitación (vacío).
- h) Pérdidas de carga (en los devanados).
- i) Medición de resistencias.
- j) Prueba de temperatura (capacidad real).
- k) Eficiencia.
- l) Regulación.

PRUEBAS DE ACCESORIOS.-

- m) Prueba de alta corriente en seccionador y fusibles.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO:

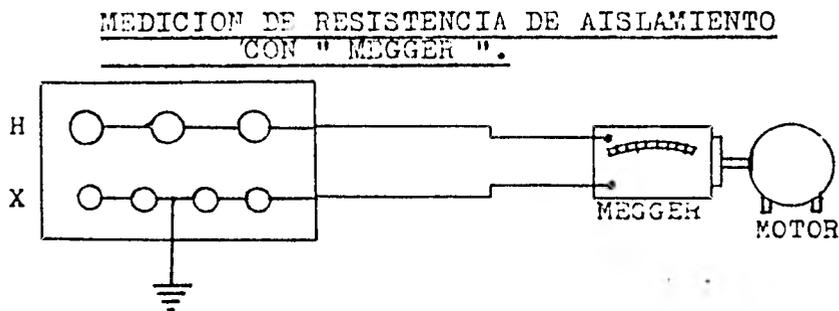
Resistencia de aislamiento.- Esta prueba sirve para tener una idea del estado de humedad contenida en los devanados por un proceso defectuoso de secado o por contenido de suciedad en los mismos, las resistencias de aislamiento a determinar en un transformador, son la resistencia que presenta un devanado con respecto a otro y la que presenta un devanado con respecto al núcleo y con respecto al tanque.

Definido lo anterior se determina si el transformador está capacitado para sostener o soportar las tensiones de trabajo para las cuales fue diseñado.

Existen dos maneras para efectuar la prueba:

1. Devanado de A.T. contra devanado de B.T.
2. Devanado de A.T. contra devanado de B.T. + tierra.
Devanado de B.T. contra devanado de A.T. + tierra.

La prueba se hace con un aparato llamado Megger y que actualmente se conocen dos tipos de éste; manual y motorizado siendo el más usado en la actualidad el motorizado en laboratorio y el manual en pruebas de campo.



ALTA TENSION VS BAJA TENSION + TANQUE A TIERRA

FIGURA 35

Los valores de la siguiente tabla empírica nos pueden guiar para de terminar en forma aproximada el estado de sequedad de un transformador.

| RESISTENCIA MINIMA DE AISLAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR EN ACEITE A 20°C. | | | |
|---|----------|---------------------------|----------|
| Clase de Aislamiento K.V. | Megaohms | Clase de Aislamiento K.V. | Megaohms |
| 1.2 | 32 | 92 | 2480 |
| 2.5 | 68 | 115 | 3100 |
| 5.0 | 135 | 138 | 3720 |
| 8.7 | 230 | 161 | 4350 |
| 15.0 | 410 | 916 | 5300 |
| 25.0 | 670 | 230 | 6200 |
| 34.5 | 930 | 287 | 7750 |
| 46.0 | 1240 | 345 | 9300 |
| 69.0 | 1860 | | |

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE:

Como es sabido, en los transformadores sumergidos en aceite, éste hace las veces de refrigerante y de aislante, por tal motivo es necesario controlar la calidad del mismo.

La prueba se efectúa en un dispositivo (copa estándar) construida de material aislante en cuyo interior contiene dos electrodos de 2.54 cm de diámetro, los cuales se calibran desde el exterior con un calibrador circular. La separación de los electrodos será de 0.25 cm - 0.100 mm.

DIAGRAMA DE MEDICION DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

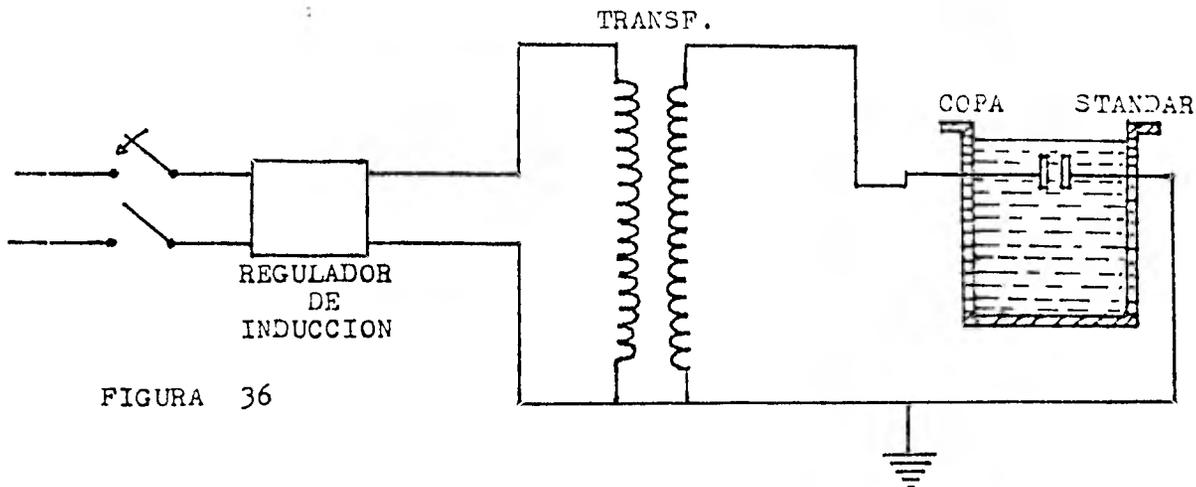


FIGURA 36

PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR LA PRUEBA:

- 1.- Lavar la copa perfectamente con gas nafta, thinner o con el mismo aceite del transformador en prueba, procurando que dicha muestra sea sacada de la parte inferior del transformador, por ser ahí la parte donde existen mayor número de impurezas.
- 2.- Calibrar electrodos (0.100 mm) de acuerdo con Normas Nacionales.
- 3.- Aplicar voltaje a razón de 2.5 KV por segundo hasta lograr la ruptura.
- 4.- Dejar reposar la muestra 1 minuto y aplicar voltaje nuevamente hasta lograr la ruptura anotando la lectura de ruptura.
- 5.- Nuevamente agitar la copa para desprender posibles residuos de carbón y dejar reposar la copa 1 minuto y aplicar voltaje hasta obtener la lectura de ruptura.

6.- Una vez terminadas las tres pruebas se promedia y de acuerdo a la última publicación de Norma CCONNIE debiendo tener el a ceite en prueba una rigidez dieléctrica mínima de 30 KV.

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO:

Esta prueba tiene por objeto probar la estructura aislante de cada uno de los devanados del transformador con respecto a tierra y los otros devanados.

La frecuencia de tensión es de 50 a 60 Hz y su magnitud se determina según la Clase de aislamiento que se vá a probar de acuerdo a - Normas CCONNIE; la tensión se sostiene durante 60 seg., en caso de no contar con normas se puede seguir el siguiente criterio:

$$V_{Prueba} = 2V_{Nominal} + 100$$

DIAGRAMA PARA PRUEBA DE ALTO POTENCIAL

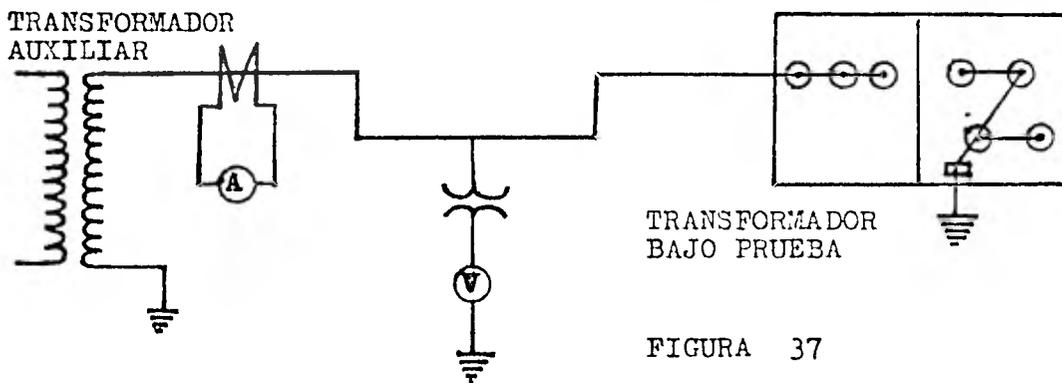


FIGURA 37

PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO:

Esta prueba tiene por objeto verificar los aislamientos entre vueltas, entre secciones, entre bobinas y entre guías de un transformador.

La prueba de potencial inducido también recibe el nombre de sobre-

potencial inducido o de alta frecuencia; generalmente los transformadores se excitan por el devanado de menor tensión con un voltaje del 200% del devanado que corresponda, es decir:

$$V_{\text{Prueba}} = 2 V_{\text{Nominal}}$$

Con ésto se logra que el aislamiento entre espiras y secciones esté sujeto a esfuerzos dieléctricos correspondientes al doble de la tensión a la cual van a trabajar. La prueba se debe efectuar con una frecuencia que tenga un valor mínimo de 120 c.p.s. y su tiempo de duración será el correspondiente a completar 7,200 ciclos, es decir:

$$\text{Tiempo} = \frac{7,200}{\text{Frecuencia Empleada}}$$

Como el flujo varía directamente proporcional a los volts por vueltas e inversamente proporcional a la frecuencia, al aumentar la frecuencia disminuimos el flujo y a la vez la corriente que pasa a través del núcleo, motivo por el cual la prueba se efectúa a 120 ciclos mínimo; si se hiciera a frecuencia nominal se correría el riesgo de saturar el núcleo.

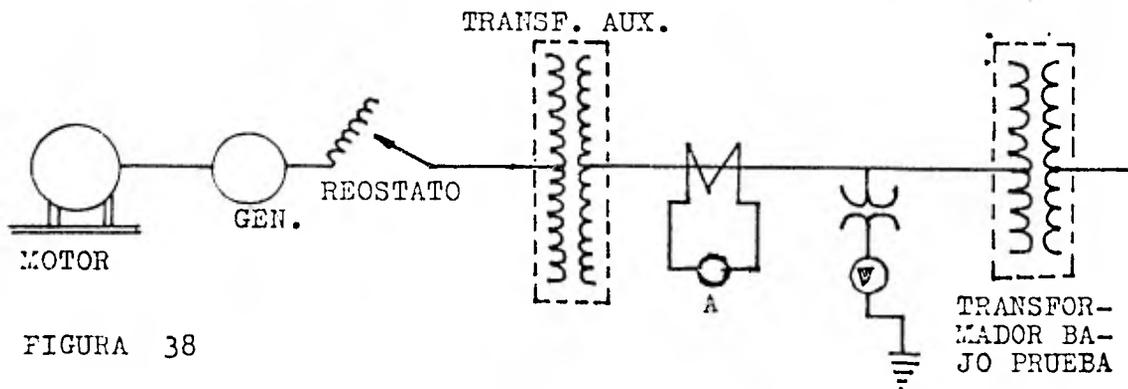


FIGURA 38

PRUEBA DE IMPULSO DE TENSION:

El objetivo de esta prueba es comprobar que la estructura aislante de un transformador está diseñada para resistir las sobretensiones

transitorias ocasionadas por descargas atmosféricas, operaciones de switcheo y fallas en el sistema.

Para esta prueba se requiere un generador de impulso, el cual consiste en cargar (N) condensadores en paralelo con una tensión (V) de corriente directa y descargarlos automáticamente en serie sobre el objeto de prueba produciendo una tensión (N V).

En un transformador bajo prueba se aplican:

- 1 onda reducida
- 2 ondas cortadas
- 1 onda completa

Tanto la onda reducida como la onda completa según normas nacionales debe ser de 1.5 X 40 microsegundos; 1.5 microsegundos para llegar al valor de cresta y 40 microsegundos para decrecer a la mitad del valor de cresta.

Las ondas cortadas son el resultado de una onda impulso limitada por las características de flameo de los aisladores, por los cuernos de arqueo o por los apartarayos del sistema de transmisión. Para prueba en laboratorio se utiliza un voltmetro de esferas debidamente calibrado según el (NBI) del aislamiento que se está probando a una tensión igual al 115% del (NBI).

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION:

Esta prueba nos sirve para determinar la correspondencia entre terminales de un transformador, así como la relación de vueltas entre sus devanados; aunque existen varios métodos para efectuar esta prueba en la actualidad se cuenta con un aparato llamado T.T.R. (Transformer Turn Ratio). Este equipo es muy completo y a la vez que se checa la relación de vueltas, nos indica la polaridad del

del transformador; también nos sirve para detectar corto-circuitos entre espiras, falsos contactos en cambiadores de derivaciones así como puntas abiertas por malas soldaduras de taps y derivaciones.

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UN T.T.R.

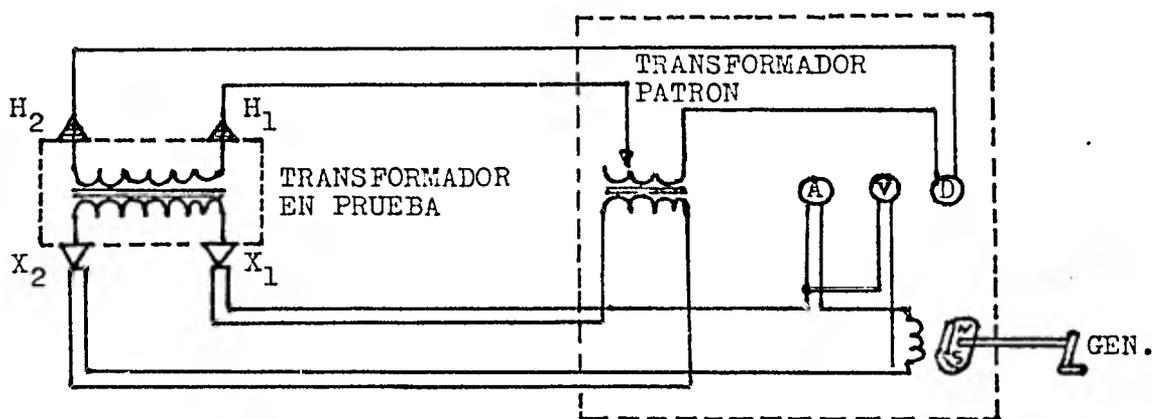


FIGURA 39

La prueba de relación de transformación se efectúa inicialmente en el área de devanados. Ahí se determina si la bobina está dentro de los límites permisibles de alta o baja relación de transformación, o como dijimos anteriormente determinar si no existe algún corto - circuito entre espiras; posteriormente, se checa la relación en el ensamble final para verificar conexiones y derivaciones al cambiador. Finalmente en el laboratorio se comprueba lo anterior y se -- procede a las pruebas de excitación en vacío y de carga sin correr el riesgo de que sellegue a quemar alguna de las bobinas componentes.

PRUEBA DE EXCITACION A PERDIDAS EN VACIO: Las pérdidas de núcleo o pérdidas en vacío son aquellas que se producen al aplicar el vol taje nominal en uno de los devanados del transformador, conservando el otro en circuito abierto.

Las pérdidas de núcleo son una combinación de las pérdidas por hig térésis y corrientes de Eddy.

La corriente necesaria para producir las pérdidas de núcleo, se denomina corriente de excitación que normalmente se expresa en % de la corriente nominal. El voltaje empleado para medir las pérdidas de núcleo, puede ser aplicado en cualesquiera de los devanados de alto o bajo voltaje.

$$\% I_o = \frac{I_o}{I_n} \times 100$$

Como mencionamos anteriormente el fenómeno de histéresis y las corrientes parásitas que se desarrollan en el núcleo debido a la corriente alterna, consumen cierta cantidad de energía cuando el transformador se ha construido en forma defectuosa, o por la calidad del acero; si deseamos conocer las pérdidas originadas seguiremos el método siguiente:

$$W \text{ Histéresis} = P_h = (K_h f)(B_m^{1.6})$$

$$W_e = P_e = K_e f^2 B_m^2$$

en donde:

P_h = Pérdida total por histéresis expresada en watts.

B_m = Densidad de flujo máxima expresada en Maxwells/ cm^2 .

f = frecuencia en ciclos/seg.

K_h = Constante de proporcionalidad que depende de la calidad del acero.

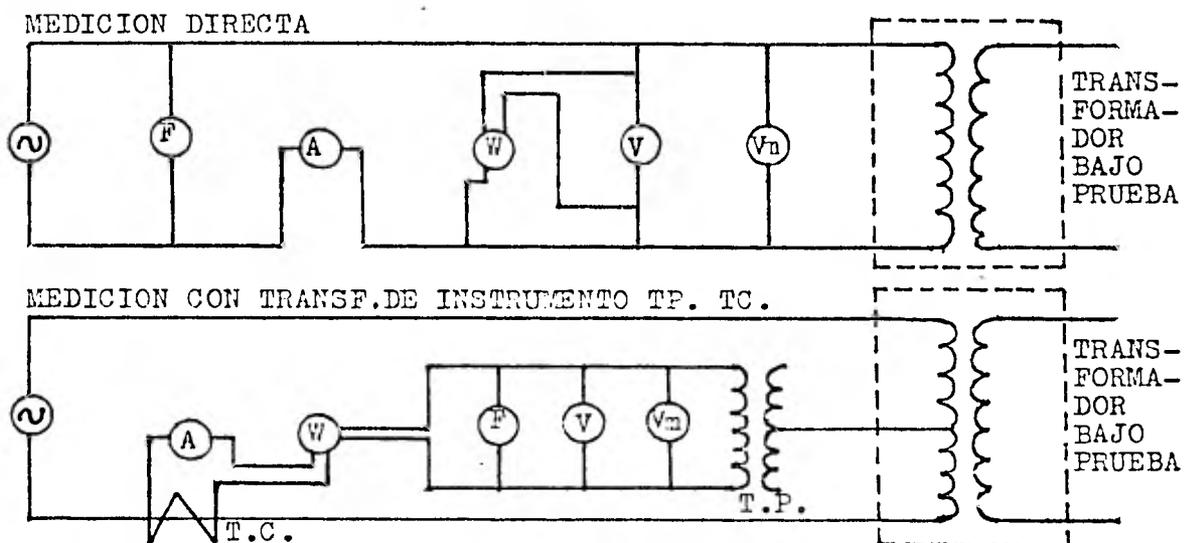
K_e = Constante de proporcionalidad que depende del volumen del núcleo, es el grueso de las laminaciones y la resistividad del a cero.

P_e = Pérdida total por corriente de Eddy expresada en watts.

$$\text{Watts fierro totales} = W \text{ Histéresis} + W_e$$

Diagrama de Medición para Pérdidas en el Núcleo (Fierro)

Figura 40



Pérdidas en los devanados: (Pérdidas de Carga).

Esta prueba como en la de pérdidas de fierro nos sirve para verificar la calidad de diseño, material y mano de obra, porque es sabido que entre menos pérdidas tenga un transformador, será más económico y su eficiencia aumentará considerablemente.

Esta prueba nos servirá para determinar las pérdidas producidas por las corrientes de carga primaria y secundaria y a la vez por la caída de tensión debida a la impedancia propia del transformador.

Con la medición de pérdidas en los devanados obtenemos las pérdidas por efecto Joule (I^2R) más conocidos como pérdidas de cobre, a las pérdidas de conductores que causan un flujo disperso así como las pérdidas por histéresis y corrientes de Eddy las conocemos con el -

nombre de pérdidas indeterminadas.

El procedimiento para efectuar esta prueba es por el método de corto circuito en cualesquiera de los devanados de alta o baja tensión, haciendo circular la corriente nominal y el voltaje de impedancia del devanado en prueba. Por lo general el corto circuito se pone -- del lado de baja tensión y se alimenta del lado de alta tensión, és to se hace por comodidad o de acuerdo al equipo de medición con que se cuente en el laboratorio. Al terminar la medición es importante tener un indicador de temperatura para corregir los watts de cobre y el % de impedancia a 75°C u 85°C de sobre elevación.

El circuito para medición de pérdidas de Cu será el mismo que se utilizó en la medición de pérdidas en el fierro, sólo que en ambos - casos el probador deberá seleccionar las constantes de medición ade cuadas en vóltmetros, ampérmetros, wáttmetros, frecuencímetros, --- transformadores de corriente y de potencial, anotando al mismo tiem po los resultados de prueba y reportar a Ingeniería de Diseño en ca so de discrepancias entre datos de Ingeniería y Resultados de Prue- ba fuera de tolerancias fijadas por las Normas Nacionales o especi- ficaciones de compra venta del cliente.

$$I_n = \frac{KVA}{\sqrt{3} KV} \quad \text{Cálculo de I nominal.}$$

PRUEBAS:

Cálculo de % de impedancia:

$$\% Z = \frac{V_z \times 100}{V_{\text{nominales A.T.}}}$$

$$\% IR = \frac{W_{cu \ 25^{\circ}C}}{KVA \times 10}$$

$$\% IX = \sqrt{(\%IZ)^2 - (\%IR)^2}$$

Para corregir la resistencia a 75° u 85°C

$$K_B = \frac{234.5 + \text{Temp. corrección}}{234.5 + \text{Temp. ambiente}}$$

$$\%IR_{75} = \%IR \times K$$

$$\%Z = \sqrt{(\%IX^2) + (\%IR_{75}^2)}$$

MEDICION DE RESISTENCIAS OHMICA DE LOS DEVANADOS:

La determinación del valor óhmico de los devanados de un transformador tiene varios objetos:

1. Nos sirve para el cálculo de pérdidas por efecto Joule (I^2R). Al mismo tiempo podemos calcular las pérdidas indeterminadas.
2. En la operación de medición se pueden detectar puntos y derivaciones abiertas así como corto circuitos en los devanados.
3. En la prueba de calentamiento para determinar la capacidad real del transformador, es de vital importancia la medición.

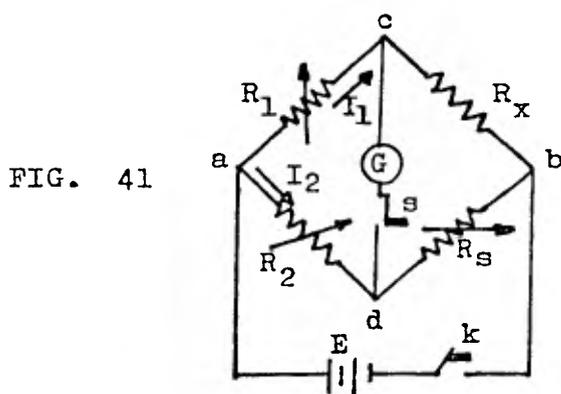
MEDICION DE RESISTENCIAS:

En la medición de resistencias debemos de tener cuidado que el transformador se encuentre en reposo en un período no menor de 4 horas y dicha medición se deberá hacer antes de efectuar las pruebas de pérdidas, siendo necesario registrar la temperatura de prueba para lo cual se utilizará un termopar conectado a un potenciómetro -- por ser más exacto o se puede utilizar un termómetro de alcohol.

Actualmente la industria cuenta con 2 aparatos de uso práctico para la medición de resistencias.

Puente de Wheatstone.- Nos sirve para medir resistencias desde -- 1 ohm hasta 1×10^6 ohms y se puede usar cuando la corriente en el de vanado a medir sea menor e igual a 1 ampere.

CONEXION DEL PUENTE DE WHEATSTONE



$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_s}$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$$

Para medir resistencias menores de 1 ohm se cuenta con le aparato - conocido como puente de Kelvin con le cual se pueden hacer medicio- nes hasta un valor de 1×10^{-6} ohms.

PRUEBA DE TEMPERATURA:

El objeto de esta prueba es determinar la temperatura máxima que al canza el transformador al operar en condiciones normales referidas a su carga nominal para lo cual fué diseñado.

Existen dos métodos para efectuar una prueba de temperatura:

1. Método de oposición, el cual es posible cuando se tienen 2 --- transformadores de idénticas características, los cuales se co nectarán en paralelo y utilizando un banco de transformadores para suministrar la carga deseada en los transformadores de -- prueba.

2. Método de corto circuito, el cual es el más usado y consiste - en cortocircuitar uno de los devanados aplicando los watts totales de pérdidas de Fe, Cu e indeterminados.

Cuando se ha definido el método adecuado de prueba se procede a efectuarla tomando en consideración los siguientes puntos:

- a) Checar que el transformador se encuentra al nivel requerido de aceite y que no ahogue radiadores si los lleva porque su eficiencia de enfriamiento sería nula.
- b) Colocación de termopares o termómetros, normalmente se utilizan 6 termopares previamente colocados en un registrador gráfico sumergiendo el primero al aceite directamente 2" en la parte superior por ser la más caliente, el segundo y tercer termopares estarán fuera del tanque colocados en los radiadores de enfriamiento si los lleva el transformador en la parte superior e inferior del tanque. Los tres restantes se utilizarán sumergidos en aceite colocando los recipientes a una distancia mínima del transformador bajo prueba de un metro.
- c) Cuando se ha comprobado lo anterior se procede a aplicar - al transformador bajo prueba los watts totales calculados en la posición mínima de voltaje, por ser el TAP de menor resistencia en el devanado.
- d) Una vez aplicada la carga nominal se deja calentar el ---- transformador hasta lograr una estabilización entre acei--te-ambiente, sin variación de temperatura mayor de 1°C en un período de 3 horas.

Cuando se ha conseguido ésto se baja a corriente nominal y se espera su estabilización durante 2 horas; una vez transcurrido este tiempo se procede a hacer la medición de resistencia la -

que se puede hacer por el método de corte simultáneo o si se prefiere, se hace la medición por devanados separados. En cualesquiera de los casos se toman las lecturas de resistencias con respecto al tiempo considerando las primeras 4 lecturas de cada devanado si fueron tomadas dentro de los 4 primeros minutos siguientes al instante de corte; cuando se han obtenido las lecturas suficientes a criterio del probador se procede a trazar la curva Resistencia Tiempo y para obtener la temperatura total del transformador aplicaremos la siguiente fórmula:

$$T = \frac{R}{R_0} (234.5 + T_0) - 234.5$$

en donde:

T = temperatura promedio del devanado a prueba.

R = resistencia promedio del devanado en caliente.

R₀ = Resistencia del devanado promedio en frío.

T₀ = temperatura del devanado en frío.

Conocida la temperatura del devanado se restará la temperatura del aceite promedio a la hora del corte y obtenemos el gradiente de bobina sumando finalmente la temperatura de estabilización promedio para obtener la temperatura final del transformador.

EFICIENCIA:

La eficiencia en un transformador se define como la relación que existe de su salida a su entrada.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de salida} + \text{Pérdidas}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Pot. salida} + \text{pérdidas fierro} + \text{pérdidas en devanados}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{V_s I_s \cos \varnothing}{V_s I_s \cos \varnothing + P_o + R_p I_p^2 + R_s I_s^2}$$

en donde:

$V_s I_s \cos \varnothing$ = potencia de salida.

$P_o = P_h + P_e$ = pérdidas en el núcleo.

$R_p I_p^2 + R_s I_s^2$ = pérdidas en los devanados.

Existen tablas que nos facilitan el cálculo de la eficiencia en un transformador para los cuales sólo necesitamos los valores de pérdidas del transformador.

REGULACION:

La regulación de voltaje se define como el cociente de la diferencia entre el voltaje primario dividido por la relación de transformación "a", voltaje secundario en vacío menos el voltaje secundario a plena carga multiplicando por 100 para expresarse en %. También lo podemos definir como la cantidad de incremento con el devanado secundario abierto para mantener constante el voltaje en el secundario, cuando se aplica carga, expresado en %.

$$\% \text{ Regulación} = \frac{V_s \text{ vacío} - V_s \text{ plena carga}}{V \text{ plena carga}} \times 100$$

$$\text{o bien: } \% \text{ Regulación} = \frac{V \text{ l/a} - V_s \text{ plena carga}}{V_s \text{ plena carga}} \times 100$$

También como en el caso del cálculo de la eficiencia se cuenta con monogramas para facilitar el cálculo de regulación.

PRUEBAS DE ACCESORIOS:

El transformador (Residencial) cuenta con cortacircuitos secundarios y seccionadores en el lado de alta tensión siendo en ambos casos de vital importancia probar de acuerdo a sus características de Tiempo Corriente, la operación de disparo en el caso de cortacircuitos secundario y en el seccionador checar que el flameo entre contactos cuando se opera a plena carga no se dañen, es decir que sirvan para el fin que fueron diseñados o seleccionados.

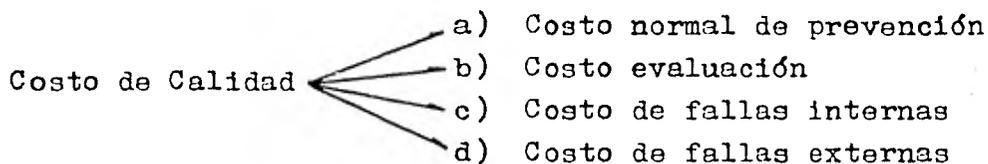
C A P I T U L O I V

A N A L I S I S D E C O S T O S

ANALISIS DE COSTOS

El Costo de Calidad como parte del propio costo del transformador - es muy importante, ya que un elevado costo de calidad reduciría las utilidades esperadas del mismo.

Para dar una idea clara de lo anterior, se deberán explicar los diferentes factores que intervienen directamente en el Costo de Calidad.



a) Costos Normales de Prevención.- Elementos principales del Costo de Prevención:

1. Planeación de la calidad.- La planeación de la calidad representa los costos relacionados con el tiempo que el personal de Control de Calidad gasta en planear el sistema de calidad y en traducir el diseño del producto y requisitos de calidad del -- cliente dentro de los controles específicos de manufactura en la calidad de los materiales, procesos y chequeo de productos por medio de métodos y procedimientos e instrucciones establecidas.

Algunos de estos planes de calidad requerirán solicitar información y tener discusiones con personal de otras áreas como: Mercadeo, determinando lo que quiere el cliente, tal como estándares de calidad y requisitos certificados en la calidad -- del producto.

Con Ingeniería del Producto, revisando los resultados de las evaluaciones del prototipo y la traducción de los requisitos de la calidad dentro de las unidades de medida para control.

Con Ingeniería de Manufactura, sobre la planeación de la calidad de controles para máquinas y procesos.

Con Compras, para discutir lo relacionado con la calidad de -- los materiales.

2. Proceso de Control.- El control de proceso representa los costos relacionados con el tiempo que el personal de Control de Calidad ocupa, estudiando y analizando los procesos de manufagtura, tratando a la vez de mejorar la capacidad del proceso.
 3. Entrenamiento de Calidad.- Representa el costo de desarrollo y operación para los programas de entrenamiento formal de cali--dad para todas y cada una de las operaciones de un departamen--to.
- b) Costos de Evaluación.- Estos costos son los relacionados con la inspección y operaciones de prueba llevados a cabo a través de - la operación de manufactura. La definición de los subelementos - de este costo son de la siguiente manera:
1. Prueba del producto.- Representa el costo del tiempo que el personal de pruebas gasta en medir y reportar sobre el cum--plimiento técnico del producto en el taller.
 2. Inspección del producto.- La inspección del producto repre--senta los costos del tiempo que el personal ocupa en inspec--cionar, probar y reportar durante el proceso de fabricación en el taller.

3. Auditorías de Calidad.- Las auditorías de calidad representan costos relacionados con el tiempo que el personal gasta llevando a cabo la rutina de las auditorías de calidad en los materiales componentes y/o producto terminado.
 4. Pruebas e inspección de Materiales.- Representan los costos de inspección y pruebas del material que se destinará a la fabricación del producto. Esto incluye el costo de -- pruebas de un laboratorio ajeno del departamento de Control de Calidad.
- c) Costos por Fallas Internas.- Indican los gastos incurridos para corregir partes fuera de especificaciones, componentes, materiales, subensambles y productos terminados que no fueron debidamente chequeados durante el proceso de fabricación.

Causas que originan Costo de Fallas Internas:

1. Desperdicio.- Costos netos de materiales de desperdicio son debido a que están fuera de especificaciones sin hacer caso de si la causa es de conformidad o nó, ésto se puede deber a las siguientes causas:
 - 1.2 Error del operario.
 - 1.3 Error del diseño o trazado del producto.
 - 1.4 Incapacidad del equipo de manufactura y procesos para -- producir dentro de los requerimientos.
 - 1.5 Fallas atribuibles a distribuidores.
 - 1.6 Cambios de diseño para corregir deficiencias del mismo.
 - 1.7 Daños en transporte de llegada al almacén.

2. Reprocesos.- Costos incurridos por corregir o tratar de corregir en lugar de considerarlo como desperdicio, materiales fuera de especificación incluyendo también costos de reinspección y reprueba.

3. Costos de Administración.- Son los tiempos que emplean los ingenieros de producto o de producción de manufactura y/o de Control de Calidad, para idear cosas especiales y otra clase de arreglo, para utilizar en vez de desperdicios, materiales fuera de especificación.

d) Costos por Fallas Externas.- Estos costos representan fallas -- del producto después que ha sido entregado al cliente, dentro de el período regular de garantía.

El costo de fallas externas se obtendrá por los siguientes reportes:

1. Relación de materiales, mano de obra y gastos indirectos utilizados en aparatos reparados dentro de garantía por cuenta de la Compañía.

2. Relación de materiales, mano de obra y gastos indirectos utilizados en aparatos, modificados o cambiados de diseño por -- cuenta del fabricante.

Después de haber analizado los conceptos que integran el Costo de - Calidad, podemos darnos cuenta de lo que gastó una Compañía X, que fabrica transformadores durante el año de 1981:

Gastos de Prevención.- Considerando un Ingeniero de Control de Calidad con sueldo mensual de \$30,000.- el sueldo anual será:

\$360,000 sueldo neto + 45% sobre prestaciones

Sueldo Total \$522,000 ----- (1)

Gastos de Evaluación.- Como se dijo anteriormente son todos los gastos relacionados con sueldos de inspección y pruebas, así como costos derivados de necesidades del propio departamento.

Si consideramos 13 personas que integran el Departamento de Control de Calidad tendremos:

| | |
|-----------------|----------------------------|
| Sueldo Promedio | \$12,500.00 por inspector |
| Sueldo Anual | \$150,000.00 por inspector |

Mas el 45% sobre prestaciones tales como Vacaciones, Días Festivos, Días Séptimos, Seguros de Vida, Seguro Social.

| | |
|-----------------------------------|--|
| \$150,000.00 x 45% = \$ 67,500.00 | |
| + Sueldo Anual | <u>\$150,000.00</u> |
| Total Sueldo | \$217,500.00 por persona |
| Total Sueldos | \$217,500 x 13 = \$2,827,500.00 -----(2) |

El Costo de Inspección, aplicada en Tiempo Extra fue:

Costo Tiempo Extra = Sueldo Mensual ÷ 30 días = Sueldo por día
Sueldo por día ÷ 8 horas de labor = Sueldo por hora trabajada
Sueldo por hora trabajada x 1.785 = sueldo por hora trabajada + Gratificación.

Sueldo Mensual

$12,500 \div 30 = \$ 416.66$

$416.66 \div 8 = \$ 52.08$

$52.08 \times 1.785 = \$ 92.96$

$52.08 + 92.96 = \$ 145.00$ Costo Tiempo Extra Doble por hora trabajada

$52.08 \times 2.5 = 130.20$ gratificación por cada hora triple trabajada

$52.08 + 130.20 = \$182.28$ Costo Tiempo Extra Triple por hora trabajada.

En el citado departamento se trabajaron:

1524 horas Tiempo Extra Doble

Costo = 1524 x 145.00 = \$ 220,980.00 -----(3)

312 horas Tiempo Triple

Costo = 312 x 182.28 = \$ 56,871.36 -----(4)

Costo de Sueldos Total Anualizado:

(1) 522,000.00

(2) 2,827,500.00

(3) 220,980.00

(4) 56,871.36

\$ 3,627,351.36

Gastos "varios" del departamento:

\$ 119,250.00 = Gastos por depreciación y amortización equipo

12,500.00 = Gastos de herramientas estándar

181,750.00 = Utiles y accesorios

8,750.00 = Teléfonos y telégrafos

14,500.00 = Servicios de compañías no afiliadas

25,000.00 = Fletes y acarreos

39,250.00 = Cursos para empleados

44,500.00 = Representaciones y agasajos

161,750.00 = Empleados solicitados a otro departamento

481,250.00 = Mantenimiento planta y equipo

\$1,088,500.00

El total de horas utilizado por Ingeniería de Diseño e Ingeniería - de Control de Calidad e Ingeniería de Manufactura fué: 750 horas/- hombre, si consideramos que un Ingeniero gana \$1000.00 diarios, el costo por hora será de:

$$\frac{1000}{9} = 111.11 \text{ hora/hombre}$$

$$750 \text{ hrs.} \times 111.11 = \$83,332.50$$

Costo total de Falla Interna.-

| | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| \$ 1,482,629.22 | Costo Material Enviado a Salvamento |
| 117,083.33 | Mano de Obra Directa |
| 83,332.50 | Mano de Obra Indirecta |
| <u> </u> | |
| \$ 1,683,045.05 | |

Costo de Falla Externa.- Como se dijo anteriormente la falla externa es la ocurrida en el campo, y no se tomará en cuenta si ocurriere algún accidente durante el transporte porque todos y cada uno de los transformadores cuentan con una póliza de seguro contra todo -- riesgo.

El costo de fallas externas referido en el reporte anual considerado en nuestro ejemplo, es el siguiente:

- 1.- De Guaymas, Sonora se reportaron 10 transformadores 150 KVA, - 13,200 YT/7620-220Y/127, con puntas abiertas en cambiadores de derivaciones se comisionó a un Ingeniero para revisar la falla y decidir el cargo por reparación del Taller de Servicio de aquel lugar.

Los 10 transformadores reportados fueron checados de relación de transformación encontrándose efectivamente 6 TR's con puntas trozadas en el cambiador de derivaciones causado por el movimiento del aceite dentro del tanque.

El costo de 2 personas encargadas de la reparación fue de --- \$2500.00 diarios.

| | |
|--|-------------------------|
| Se utilizaron 2 días ----- | \$ 5,000.00 |
| Costo tiempo de Ingeniero de Servicio ----- | \$ 1,500.00 |
| Costo de viáticos (alimentos, transporte, hospedaje) ----- | \$10,000.00 |
| | <u>\$16,500.00</u> -(1) |

2.- De Guadalajara, Jal. se reportaron 5 transformadores, los cuales se estaban sobrecalentando con su carga nominal, como en el caso anterior, se envió a un Ingeniero de Servicio para verificar la falla, decidiendo enviarlos a planta para su reparación.

El costo total de esta reparación fue:

| | |
|--|-----------------|
| Gastos de Ingeniero incluyendo costo de tiempo: | \$4,500.00 (1) |
| Gasto de transporte de Tr's de regreso a planta | 7,500.00 (2) |
| En planta se agregaron 6 radiadores de enfriamiento a cada transformador con costo de \$ 250.00 por radiador | 7,500.00 (3) |
| Se utilizaron para el desensamble y ensamble de los transformadores, Operadores de primera cuyo costo por hora es de \$47.20 normales, se necesitaron 110 horas para la reparación cuyo costo total fue de | \$ 5,192.00 (4) |

| | |
|---|-----------------------|
| Del personal de Control de Calidad se utilizaron 50 horas normales incluyendo pruebas; costo por hora \$52.07 | 2,603.75 (1) |
| Gasto de transporte de regreso a Guadalajara | <u>\$7,500.00 (2)</u> |
| Costo Total de la Reparación | \$34,795.75 |

3.- De Mexicali, B.C. se reportaron 2 transformadores fallados por corto circuito entre espiras; se regresaron a planta para su reposición el costo de transporte a planta fue \$12,500.00

Costo total de reposición de los transformadores

Si el costo por transformador es \$131,372.50 será: \$262,745.00

| | |
|--|--------------|
| Costo de transporte de los transformadores de regreso al cliente ----- | \$ 12,500.00 |
| Costo Total de la Falla ----- | \$287,745.00 |

4.- Se reportaron de diferentes partes de la República fallas por empaques deteriorados en boquillas de alta y baja tensión en - 15 transformadores originando fugas de aceite; el costo total de dichas reparaciones fue: Costo de Mano de Obra (240 horas operadores de primera a \$47.20 c/h.) \$ 11,328.00
 Costo de Ingeniería de Servicio al Producto \$ 22,500.00
 Costo de Material utilizado para las reparaciones:
 900 litros de aceite PEMEX no. 1/ c/lt. \$ 4.50 \$ 4,050.00
 Costo de empaques de hule neopreno 2,500.00
 Costo de transportes 37,500.00
 Costo de alimentación y hospedaje 45,000.00

| | |
|-------------|---------------------|
| Costo Total | <u>\$122,878.00</u> |
|-------------|---------------------|

El costo total de la Falla Externa es:

| | |
|-------------------|---------------------|
| Falla No. 1 ----- | \$ 16,500.00 |
| Falla No. 2 ----- | \$ 34,795.75 |
| Falla No. 3 ----- | \$287,745.00 |
| Falla No. 4 ----- | \$122,878.00 |
| | <u>\$461,918.75</u> |

Costo Total de Calidad .-

| | |
|-----------------------------|-------------------|
| Costo Prevención ----- | \$ 522,000.00 |
| Costo Evaluación ----- | 3,105,351.36 |
| Costo Fallas Internas ----- | 1,683,045.05 |
| Costo Fallas Externas ----- | <u>461,918.75</u> |

Costo Total de Calidad: \$ 5,772,315.16

Ahora para sacar el porcentaje de Costo de Calidad, es necesario co
nocer el estado de ventas realizado en el período del año 1981:

| TIPO DE TR's | COSTO UNITARIO PROMEDIO | CANTIDAD MANU- FACTURADA | COSTO TOTAL |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Distribu- ción Tipo Poste | \$ 54,130.00 | 9917 | \$ 536,807,210.00 |
| Tipo Resi- dencial. | \$ 131,375.00 | 1250 | \$ 164,218,750.00 |
| Potencia - no mayores de 5 MVA | \$ 6,345.00 | 150 | \$ 951,750.00 |
| Total Ventas Netas: | | | <u>\$ 701,977.710.00</u> |

$$\frac{\% \text{ COSTO CALIDAD}}{\text{VENTAS NETAS}} = \frac{5,772,315.16}{701,977,710.00} = 0.0082$$

$$0.0082 \times 100 = 0.82$$

El valor de 0.82 se tomará como base para elaborar planes de trabajo y fijar metas de reducción de gastos sin afectar la calidad deseada.

Para poder llevar a cabo el Capítulo de Costos de Calidad, se hicieron los cálculos más reales posibles, pues como todos sabemos actualmente existe una inestabilidad de precios que nos hace un tanto difícil sostener los costos antes mencionados.

El precio de los productos en general, es demasiado variable por lo que también en los casos de no contar con los datos reales, se hicieron cálculos aproximados de lo estimado.

C A P I T U L O V

C O N C L U S I O N E S

CONCLUSIONES:

El trabajo descrito nos indica lo importante que es para una compañía cualquiera que sea el producto que manufacture, la intervención de Control de Calidad, ya que cualquier falla no detectada a tiempo incrementa costos adicionales por sustitución de material, costos - por mano de obra directa, multas por tiempos de entrega, costos de desperdicio, costos de Ingeniería, etc.

Considerando que todos y cada uno de los materiales y procesos descritos son importantes para la vida útil del transformador y debido al alto costo de fabricación de los mismos, es obligación del fabricante seguir los lineamientos establecidos por Control de calidad - para lograr que el producto que ofrece sea consistente, con el interés público y con todas las leyes y reglamentos aplicables.

El ejemplo de Costo de Calidad, nos dá una idea clara del gasto de material por fallas internas y fallas externas, lo cual nos indica que es necesario contratar más personal técnico, para llevar un mejor control de:

- a) Pruebas de materiales de recepción
- b) Auditorías de Calidad de Diseño
- c) Control de procesos de fabricación
- d) Auditorías de calidad por área de fabricación
- e) Auditorías de calidad de producto terminado
- f) Elaboración por Instrucciones Permanentes.

Espero que el trabajo presentado sea una pequeña aportación, para tratar de mejorar la calidad en la fabricación de Transformadores, que deben cumplir con las exigencias actuales de la vida moderna de las grandes ciudades, tanto en sus zonas comerciales como residenciales, pues siendo la energía eléctrica una de las bases del movimiento de las ciudades, los transformadores deben ser:

SEGUROS
CONFIABLES
DE DISEÑO ESPECIAL

Seguros.- Por el lugar donde se instalan, estos transformadores deben estar protegidos contra el acceso de personas ajenas, así como para que en su operación o en caso de falla, no exista peligro alguno a su alrededor.

Confiables.- Deben de permitir una continuidad de servicio o para - ésto se requiere que sean diseñados y contruidos para reducir a un mínimo las interrupciones que afectan el servicio.

Diseño Especial.- Deben tener una apariencia y acabado de acuerdo al lugar donde se instalen.

Si analizamos lo anterior podemos darnos cuenta que ésto sólo se lo grará mediante un buen Control de Calidad, mismo que en la actualidad es necesario actualizar formando agrupaciones y/o seminarios pa ra implementar niveles de calidad en los diferentes materiales reci bidos para la fabricación de aparatos eléctricos de tipo industrial. También es necesario tener presente que la Política del Gobierno Me xicano con miras a integrar el País, la manufactura de productos -- que antes se importaban a través de una tesis muy acertada, ha modi ficado sus reglamentaciones para favorecer la introducción de capitales extranjeros y de evitar la salida de divisas a partir de un - programa de industrialización que tiende a integrar en México la ma nufactura de artículos que antes se importaban, otorgando subsidios y protección a la industria y sobre todo a aquellas que se dedican a la fabricación de productos nuevos. Por otra parte se ha restringido la importación de aquellos productos que se fabrican o están - próximos a fabricarse en el País.

Esto ofrece un panorama un poco más peligroso para los manufactureros, o para aquellos que cada día dependen más y más de materia prima, partes y componentes que antes importaban. El lector se preguntará ¿ Por qué es peligroso ? Pues bién, es peligroso porque la mayoría de los fabricantes no están preparados para controlar la calidad de los nuevos productos, que antes se importaban. Por lo que dichos proveedores deberán crear la calidad invirtiendo en mejores -- técnicos, mejor equipo y mejores métodos que garanticen finalmente una buena calidad a un bajo costo teniendo en cuenta que la competencia es y será cada vez mayor.

B I B L I O G R A F I A

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO VOL. II

Chester L. Dawes

NORMAS PARA TRANSFORMADORES TIPO RESIDENCIAL
CCONNIE 2.1

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

Rodolfo Romero C.

Rubén Anaya Vázquez

CONTROL TOTAL DE CALIDAD

General Electric de México, S.A.

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO VOL. II

ING. Eduardo Díaz Losada

FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

Ing. Rodolfo Romero Carrera

Ing. Rubén Anaya Vázquez

CURSO DE TRANSFORMADORES

Ing. Gilberto Enríquez Harner

MANUAL DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

General Electric de México, S.A.

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS HANDBOOK

Dwight E. Gray