

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO: DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO  
ELECTRICO OCTUBRE DE 1984.

ING. JOSE RAULL MARTIN (COORDINADOR)  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
ELECTRICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNAM  
MEXICO, D.F.  
550 52 15 EXT. 3737

ING. LEOVIGILDO ARTURO GARCIA GUERRERO  
JEFE DE INGENIERIA DE DISEÑO DE TRANSFORMADORES  
DE POTENCIA Y EXTRA ALTA TENSION  
INDUSTRIAS IEM, S.A. DE C.V.  
V. GUSTAVO BAZ KM. 11.5  
TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO  
565 69 00 EXT. 412

ING. JOSE LUIS FLORES MATA  
JEFE DE INGENIERIA DE DISEÑO Y MOTORES TRIFASICOS  
INDUSTRIAS IEM, S.A. DE C.V.  
KM. 11.5 VIA GUSTAVO BAZ  
TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO  
565 69 00 EXT. 434

ING. HUMBERTO SANCHEZ SANCHEZ  
INGENIERO DE DISEÑO  
INDUSTRIAS IEM, S.A. DE C.V.  
VIA GUSTAVO BAZ KM. 11.5  
TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO  
565 69 00 EXT. 461

ING. ANTONIO CARDENAS LOAEZA  
GERENTE GENERAL  
TRANSFORMADORES Y TECNOLOGIA, S.A. DE C.V.  
BLVD. M. A. CAMACHO 1903-402  
CDA. SATELITE  
EDO. DE MEXICO  
572 27 53

ING. ARMANDO MATEUS CUIEL  
SUBDIRECTOR DE VENTAS Y MERCADOTECNIA  
SYC SELMEC S.A.  
CALZ. VALLEJO 706  
MEXICO, D.F.  
587 02 14

ING. ALBERTO VILLAGRAN URRUTIA  
PROMOTOR DE VENTAS ZONA PACIFICO  
SYC SELMEC, S.A.  
CALZ. VALLEJO 706  
02300 MEXICO, D.F.  
587 02 15

281 05 14  
03300 MEXICO CITY  
CIVIL AIR MAIL  
SAC MEXICO CITY  
FROM: OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
INFO: VICTORIANO ALFONSO VILLALBA

281 05 14  
MEXICO CITY  
CIVIL AIR MAIL  
SAC MEXICO CITY  
OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
INFO: VICTORIANO ALFONSO VILLALBA

213 05 20  
OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
CIVIL AIR MAIL  
FROM: OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
TO: SAC MEXICO CITY  
INFO: VICTORIANO ALFONSO VILLALBA

281 05 00  
MEXICO CITY  
CIVIL AIR MAIL  
FROM: OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
TO: SAC MEXICO CITY  
INFO: VICTORIANO ALFONSO VILLALBA

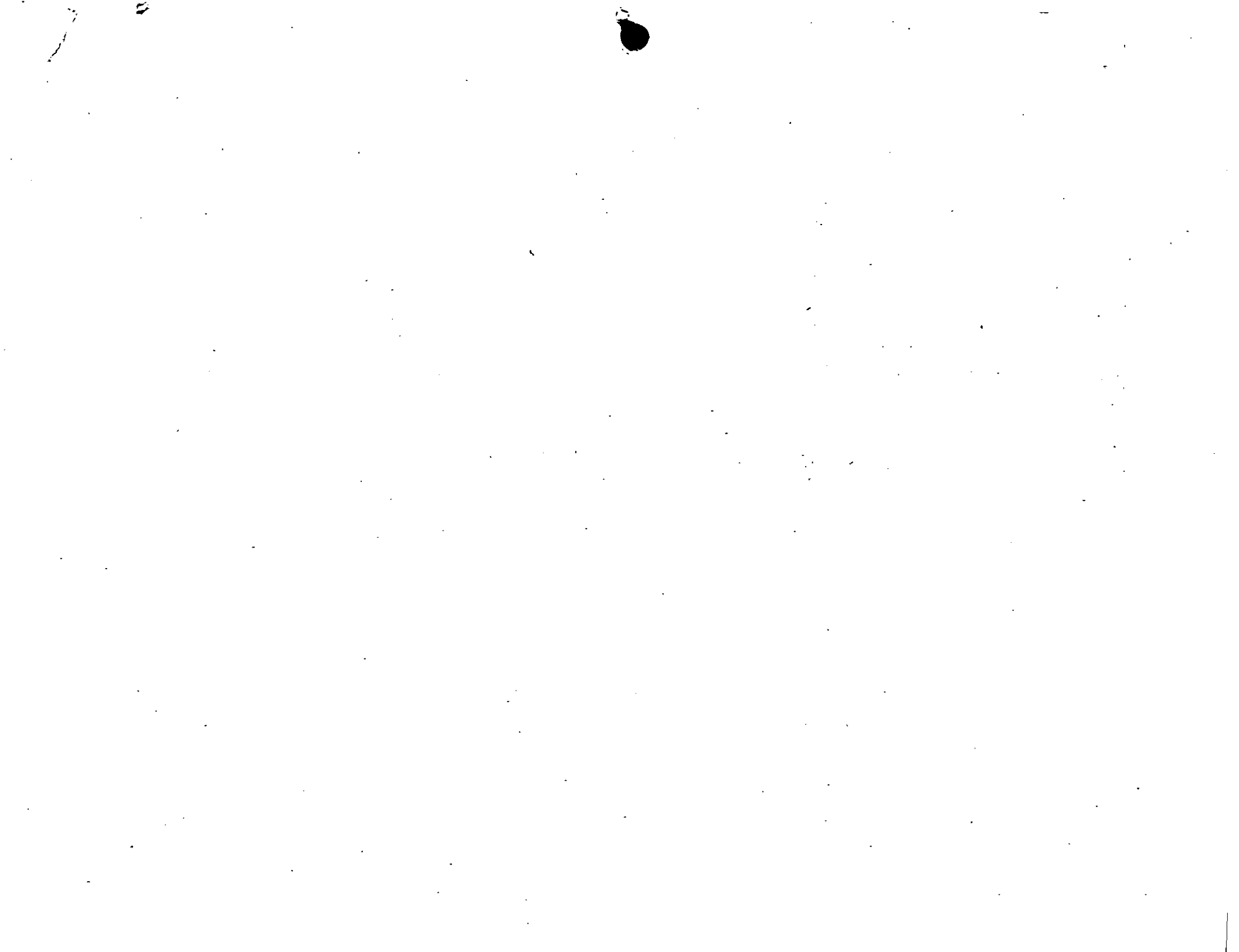
281 05 00  
MEXICO CITY  
CIVIL AIR MAIL  
FROM: OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
TO: SAC MEXICO CITY  
INFO: VICTORIANO ALFONSO VILLALBA

281 05 00  
MEXICO CITY  
CIVIL AIR MAIL  
FROM: OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
TO: SAC MEXICO CITY  
INFO: VICTORIANO ALFONSO VILLALBA

281 05 00  
MEXICO CITY  
CIVIL AIR MAIL  
FROM: OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL  
TO: SAC MEXICO CITY  
INFO: VICTORIANO ALFONSO VILLALBA

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO 1984.

Fecha	Tema	Horario	Profesor
Octubre 1° y 2	TRANSFORMADORES DE POTENCIA	17 a 21 h c/día	ING. ALVARO CANCINO Q. ING. FERNANDO BAQUEIRO
Octubre 3, 4 y 5	MOTORES DE INDUCCION	17 a 21 h	ING. JOSE LUIS FLORES MATA ING. HUMBERTO SANCHEZ SANCHEZ
Octubre 8	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	17 a 21 h	ING. ANTONIO CARDENAS LOAEZA
Octubre 9	TRANSFORMADORES DE POTENCIAL	17 a 21 h	ING. ANTONIO CARDENAS LOAEZA
Octubre 10	CUCHILLAS Y CORTACIRCUITOS	17 a 21 h	ING. ALBERTO VILLAGRAN U. ING. ARMANDO MATEUS C.
Octubre 11	MESA REDONDA	17 a 21 h	





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

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

CONCEPTOS BASICOS Y CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION

ING. JOSE LUIS FLORES MATA  
ING. HUMBERTO SANCHEZ SANCHEZ

OCTUBRE, 1984.

## CONCEPTOS BASICOS Y CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION

## 1.- CONSTITUCION DE UN MOTOR DE INDUCCION.

Un motor de inducción o asíncrono (fig. 1) posee una carcaza "A" provista interiormente de un circuito magnético o núcleo estator "B", constituido por un paquete de laminaciones de acero al silicio, cuyas ranuras contienen espiras de conductor de cobre formando las bobinas o devanado "C". Este devanado está unido a la red de alimentación mediante las terminales alojadas en una caja de conexiones "D". El conjunto de estas piezas constituye el estator del motor.

En ambos extremos del estator van montados los soportes de cojinetes o tapas "E" que permiten por intermedio de los rodamientos "F", la rotación de un eje o flecha "G" sobre el cual se ensambla el núcleo rotor "H", constituido a su vez por un paquete de laminaciones de la misma naturaleza que las del estator y, como aquellas, provistas también de ranuras.

En los motores de inducción tipo jaula de ardilla, dichas ranuras están ocupadas por barras de cobre o de aluminio cuyas extremidades por uno y otro lado del núcleo están conectadas entre sí por los anillos de cortocircuito "J". El conjunto de las barras y de los anillos se asemeja bastante a una "jaula de ardilla", expresión que da nombre a este tipo de motor conocido también como "motor con rotor en cortocircuito" por estar el circuito eléctrico formado por las barras, efectiva y definitivamente puesto en cortocircuito por los anillos.

La flecha sobresale por una de las tapas de manera que permita accionar una carga, mientras que por el otro extremo acciona generalmente un ventilador "K" que impulsa aire a la carcaza con el fin de asegurar su enfriamiento. Una cubierta metálica "L" protege el ventilador contra contactos accidentales.

La descripción anterior nos permite definir los órganos esenciales, cuyo conocimiento es necesario para comprender el funcionamiento, pues corresponde a un tipo de motor perfectamente clásico y muy conocido y, solo tiene por objeto, fijar las ideas, puesto que existen numerosas variantes de construcción las cuales se describirán brevemente en la tercera parte de este mismo capítulo.

Para este objeto el motor se divide en tres partes principales

- a) ESTATOR
- b) ROTOR
- c) PARTES MECANICAS Y ACCESORIOS

### E S T A T O R

CARCAZA.- Es el soporte mecánico de la máquina y puede ser de fundición de hierro gris o armada de lámina de acero suave rolada en frío (Fig. 2) dependiendo del tipo de motor diseñado y de los recursos de manufactura disponibles.

NUCLEO ESTATOR.- Como ya se dijo antes forma parte del circuito magnético y está constituido por un paquete de laminaciones de acero al silicio con espesores que varían entre 0.45 y 0.65 mm. (Fig. 3) previamente troqueladas con la forma, dimensiones y número de ranuras requerido. Cuando es necesario reducir al mínimo las pérdidas en el acero a dichas laminaciones se les da un recubrimiento con materiales aislantes y se someten a un proceso de recocido para desarrollar al máximo sus propiedades eléctricas. Las laminaciones de estator se unen por medio de soldadura y soleras de sujeción o se sujetan por medio de cinta de lámina para formar el núcleo estator.

BOBINAS O DEVANADO.- Ya ensamblados el núcleo y la carcaza se coloca el devanado formado prácticamente por un conjunto de bobinas simples que integran la parte eléctrica del estator. Dichas bobinas están constituidas por un hilo conductor que es arrollado sobre si mismo un número previsto de vueltas (Fig. 4) y dicho conductor elemental está formado en la mayoría de los casos por uno o varios alambres de cobre cubiertos con una fina película de esmalte aislante. Un grupo de bobinas consta de una, dos o más bobinas simples que no están co-

nectadas entre sí sino que desde su principio hasta su final el conductor es continuo.

De acuerdo al diseño de cada motor y a las características deseadas se hace la conexión interna de los grupos de bobina a los cables que habrán de servir de terminales casi siempre por medio de soldadura autógena y de acuerdo a un diagrama emitido por el departamento de Diseño. Al final de dichos cables se ensamblan zapatas de cobre formando las terminales que habrán de alojarse en la caja de conexiones, estas terminales obtenidas del devanado serán las que reciban la energía eléctrica a transformar.

**AISLAMIENTOS.**- Existen varias clases de aislamientos dependiendo mucho de los materiales que lo componen y de acuerdo a la temperatura límite que es capaz de soportar un aislamiento sin modificar sus propiedades características, se clasifican como se indica en la Tabla I.

T A B L A I

AISLAMIENTO DE CLASE	TEMPERATURA LIMITE	MATERIALES COMPONENTES
Y	90°C	ALGODON, SEDA Y PAPEL.
A	105°C	ALGODON, SEDA Y PAPEL IMPREGNADOS.
E	120°C	RESINAS SINTETICAS.
B	130°C	MICA, FIBRA DE VIDRIO, AMIANTO.
F	155°C	MICA, FIBRA DE VIDRIO CON AGLOMERANTES.
H	180°C	SILICONAS, RESINAS.
C	MAS DE 180°C	PORCELANA, CUARZO, VIDRIO, MICA.

A cada uno de los grupos térmicos citados, pueden incorporarse aquellos materiales aislantes en los que se pueda demostrar eficientemente que mantienen sus propiedades originales bajo las temperaturas límites correspondientes.

La mayoría de los motores se fabrican con aislamiento clase B y F, en algunos casos especiales se utiliza aislamiento clase H.



**AISLAMIENTOS DE RANURA Y DE FASE.**- Para impedir cualquier contacto o masa entre las bobinas y el núcleo, se insertan aislamientos que se amoldan a la periferia de las ranuras. En los devanados a dos capas para prevenir posibles cortocircuitos entre los dos lados de bobina que alberga cada ranura se sitúa un aislamiento intermedio conocido como separador de ranura. También para mayor seguridad de aislamiento entre las cabezas de bobina de las diferentes fases o entre aquellas y el hierro, se disponen aislamientos que separan las partes dichas y se les conoce como aislamientos separadores de fase. Como aislamientos de ranura, separador de ranura y separador de fase, se utilizan materiales compuestos laminares que pueden ser cortados y doblados fácilmente para adquirir la forma conveniente en cada caso (Fig. 4).

**CUÑAS DE CIERRE O AISLAMIENTOS DE CUÑA.**- Para que los lados de las bobinas no se salgan de las ranuras semiabiertas del estator, estas se cierran con unas cuñas. El material de que están construídas las cuñas también está de acuerdo con la clasificación de aislamientos y además debe tener una mayor resistencia al corte, al doblar y a ligeras presiones (Fig. 4).

**MANGAS Y OTROS.**- Para aislar los conductores y así poder conectar los grupos de bobinas sin el peligro de existir un cruzamiento entre fases o a tierra se utilizan las mangas. Para cubrir la soldadura de las conexiones se utiliza cinta eléctrica y para amarrar los cabezales de las bobinas se puede utilizar cordón de vidrio.

**IMPREGNADO.**- Una vez que se han colocado las bobinas al núcleo, que se han conectado y que se han hecho las pruebas preliminares y de inspección, es muy importante someterlo a una impregnación con barniz aislante. La impregnación de los arrollamientos mediante barnices aislantes tienen como objetivos: mejorar el aislamiento y protegerlo de la humedad, favorecer la disipación del calor desarrollado en los arrollamientos al rellenar todas las cavidades de aire que es el mal conductor del calor, dar rigidez mecánica al conjunto del arrollamiento y protegerlo de la acción de influencias exteriores (vapores corrosivos, bacterias etc.)

Además de las esenciales características aislantes es imprescindible que el barniz tenga las siguientes propiedades: estabilidad térmica,

resistencia al envejecimiento, buena conductividad calorífica, máxima penetración, mínima contracción, elasticidad, no agresividad hacia los alambres esmaltados, resistencia a la centrifugación a la humedad, ácidos, etc.

La clasificación de los barnices aislantes resulta al agruparlos según su clase térmica, de manera semejante a la expuesta para los aislamientos.

## R O T O R

**FLECHA.**- Es el medio transmisor de la energía mecánica obtenida a la carga aplicada al motor y se manufactura de acero con ligero contenido de manganeso, azufre y fósforo (Fig. 2).

**NUCLEO.**- El rotor del motor de inducción tipo jaula de ardilla es el tipo más común, más simple y más robusto de construcción imaginable y es prácticamente indestructible. Para mecanizar un rotor, se apilan las laminaciones previamente troqueladas y, después de haberlas montado sobre un mandril, todas las barras y los anillos de ambos extremos se funden a presión formando una sola pieza. El material usado es una aleación de aluminio. La colada se hace a presión por razones de rapidez y de costos (Fig. 2).

En los motores grandes con núcleos mayores de veinte pulgadas de longitud se utiliza otro método: una barra de cobre desnuda se coloca en cada ranura y en ambos extremos de las barras se sueldan los anillos también de cobre formando a la vez una sola pieza. Este tipo de construcción se lleva a cabo debido a la dificultad que existe para fundir aluminio a presión en longitudes de núcleo considerablemente grandes.

Se ha desarrollado un método de construcción moldeando, usando cobre para las barras y los anillos extremos. Esto por supuesto permite el uso de ranuras pequeñas, dejando más hierro para llevar las líneas de flujo magnético. El proceso en sí, es complicado por la alta temperatura de fusión del cobre y, se deben tomar precauciones especiales para prevenir aleaciones del cobre por fundición del acero.

Después de formar el núcleo por cualquiera de los métodos anteriores

se ensamblan el núcleo y la flecha. Entre los diámetros de ambas piezas existe una ligera interferencia o sea que el diámetro interior del núcleo es ligeramente menor que el diámetro de la flecha. El núcleo se flanea con el objeto de eliminar rebabas y a la vez dilatarlo y poder ensamblarle la flecha para formar una sola pieza compacta. Finalmente, el conjunto se balancea dinámicamente. En cada cara lateral del rotor y unidas a los anillos de corto circuito se disponen unas aletas o aspas las cuales al girar el rotor, remueven el aire contenido en el motor, mejorando la refrigeración del mismo.

En la práctica se pueden encontrar varios tipos de ranuras en los rotores de jaula, los tipos de ranura más utilizados son los de ranura profunda y ranura de doble jaula simulada. El tipo de ranura y las dimensiones de la misma dependen de la potencia y del diseño de cada motor de acuerdo a las características que ofrecerá el mismo y cuya clasificación se detallará más adelante.

RODAMIENTOS.- Generalmente, al menos para los motores de armazón 360T y menores los rodamientos son de bolas y prelubricados o sea que tienen una reserva de grasa para un funcionamiento aproximado de diez mil horas (Fig. 5); pero para los motores más potentes se utilizan rodamientos de rodillos en el lado de carga del motor además de que se prevé un engrasador por cojinete y se incluye una válvula de grasa destinada a evacuar las grasas viejas o excedentes (Fig. 6). El montaje de los rodamientos debe tener en cuenta la dilatación longitudinal que la flecha sufre a consecuencia del calentamiento del rotor.

#### PARTES MECANICAS Y ACCESORIOS

TAPAS.- Son partes mecánicas de sostén, pues en ellas se alojan los rodamientos o baleros que sirven de apoyo al rotor. Por lo general se construyen de fierro fundido.

El maquinado de los alojamientos de cojinete y de los ajustes de la carcasa y las tapas debe ejecutarse muy cuidadosamente: Es importante que el centrado del rotor sea lo más perfecto posible, para que el entrehierro sea rigurosamente idéntico en todas las direcciones; el cuidado con que se efectúan estas operaciones influye mucho en la

calidad de los motores.

CAJA DE CONEXIONES.- Este es una pieza que da protección mecánica a las terminales, se construye de fundición de fierro o de aluminio. Las demás piezas que constituyen el motor son partes común y corrientes y entre ellas se encuentran:

Tornillería

Placa Descriptiva

Pintura

Grasa

Empaques etc.

## 2.- PRINCIPIOS DE OPERACION Y FUNCIONAMIENTO.

**CAMPO GIRATORIO.**- Todo el funcionamiento de los motores de inducción se basa en el principio del campo giratorio. De hecho, es muy fácil imaginar el fenómeno y, tan solo con enunciar su nombre, se ve, como en la Figura 7, un campo magnético representado por el vector  $H$  girando en el sentido " $f$ " alrededor de un eje " $Z$ " perpendicular a dicho vector.

Para obtener un campo giratorio en corriente continua, se tiene que hacer girar alrededor del eje " $Z$ " un electroimán cuya bobina es recorrida por una corriente. Pero una de las propiedades más características de la corriente alterna polifásica es, precisamente, la de ser capaz de producir un campo giratorio a partir de elementos fijos únicamente.

Imaginemos primero (Fig. 8) una espira plana conectada en  $a$  y  $b$  a una fuente de corriente alterna. En el centro  $O$  de esta espira, según el eje  $XX'$  perpendicular a su plano, se situará la resultante " $h$ " del campo magnético creado en la espira según las leyes del electromagnetismo. Al ser alterna la corriente que atraviesa la espira, lo será también la resultante " $h$ " del campo magnético, o sea que, si la corriente varía de  $-I$  a  $+I$  según una ley senoidal, la resultante " $h$ " variará de  $-h$  a  $+h$ . De esta manera, una corriente senoidal que atraviesa una espira, induce en ella un campo magnético de la misma naturaleza, cuya resultante es perpendicular al plano de la espira.

Supongamos ahora que colocamos perpendicularmente, dos espiras planas como se indica en la Figura 9 e identificadas respectivamente por  $A$  y  $B$ . Alimentemos cada una de estas espiras por una corriente alterna y senoidal variando de  $-I$  a  $+I$  pero decaídas en el tiempo, como se muestra en la Figura 10.

En realidad, nuestras dos espiras se alimentan mediante una clásica corriente bifásica. Podemos situar en el centro  $O$ , común a las dos espiras, por una parte la resultante ' $a$ ' del campo creado por la espira  $A$  y por otra la resultante ' $b$ ' del campo creado por la espira  $B$ , cada una de ellas variando senoidalmente entre dos valores extre-

mos  $-H$  y  $+H$  en sus ejes respectivos, perpendiculares al plano de las espiras que han dado origen a dichos campos.

El campo resultante del conjunto constituido por las dos espiras tendrá por expresión el vector  $R$  obtenido por suma geométrica de  $a$  y  $b$ . Refirámonos ahora a la Figura 11 que, para simplificar, solo reproduce los vectores de campo, suprimiendo la representación de las espiras.

En el instante 1, las corrientes expuestas en la Figura 10 producen, respectivamente, campos cuyas componentes  $a_1$  y  $b_1$  tienen como resultante  $R_1$ . Un poco más tarde, en el instante 2, los campos elementales tienen como componentes  $a_2$  y  $b_2$ , y  $R_2$  como resultante.

Igualmente en el instante 3, las componentes de los campos han pasado a ser  $a_3$  y  $b_3$  que se componen dando  $R_3$ . Ahora bien, mientras  $a$  ha tomado progresivamente los valores  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , el vector  $b$  ha adquirido los valores  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ . La resultante de estos dos campos ha ido girando efectivamente, sin desaparecer nunca, valiendo  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ , sucesivamente. Como es lógico, la demostración puede hacerse extensiva, de la misma manera, a las posiciones anteriores al tiempo 1, ó a las posteriores al tiempo 3, e incluso a posiciones intermedias a los tiempos 1, 2 y 3.

Queda por demostrar que la resultante  $R$  conserva el mismo valor absoluto en cualquier posición para lo cual podemos referirnos a la Figura 12.

Por el mismo principio de las corrientes senoidales, resulta que la componente  $a$  posee, en un instante  $t$  dado, el valor:

$$a = H \operatorname{sen} \omega t$$

Por construcción, el valor de  $b$  en el mismo instante será:

$$b = H \operatorname{sen} \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = H \operatorname{cos} \omega t$$

Y en el triángulo  $A O B$  rectángulo en  $B$ :

$$R^2 = a^2 + b^2$$

De donde:

$$R^2 = H^2 \operatorname{sen}^2 \omega t + H^2 \operatorname{cos}^2 \omega t = H^2 (\operatorname{sen}^2 \omega t + \operatorname{cos}^2 \omega t) = H^2$$

como indica la Figura 14. El defasaje no se expresa mediante el ángulo  $\phi$  sino mediante su coseno, al cual se le llama factor de potencia.

Conviene, evidentemente que el factor de potencia del motor se aproxime todo lo posible a 1, lo que quiere decir que el ángulo de defasaje debe ser lo más reducido posible.

En la práctica se puede elevar el factor de potencia de una instalación con la ayuda de capacitores. Pero siempre es más conveniente, en igualdad de circunstancias, utilizar un motor de  $\cos \phi$  elevado.

PARES.- Se han examinado ya los efectos del campo giratorio en el rotor y como nacen las fuerzas elementales que originan el par motor. Pero este par no tiene un valor constante en cualquier circunstancia sino por el contrario, varía en función de la tensión de alimentación del motor y según su velocidad de rotación.

Si logramos que la tensión de alimentación permanezca constante, podemos trazar la curva característica par-velocidad de un motor, llevando sobre una gráfica, por una parte, los pares y por otra las diferentes velocidades correspondientes (Fig. 15). Esta característica muy importante, es la base del funcionamiento de los motores de inducción. En el momento del arranque, cuando la velocidad es prácticamente nula, el par tiene un valor igual a  $T_a$  que se denomina par de arranque. Luego la velocidad aumenta hasta que el par disminuye hasta el valor  $T_0$ , par mínimo. Luego, al seguir aumentando la velocidad, el par vuelve a crecer hasta alcanzar el valor  $T_m$  o par máximo. Finalmente, a partir de ahí, el valor del par disminuye para hacerse nulo a la velocidad de sincronismo.

Si a esta gráfica llevamos el valor del par nominal, es decir, el valor del par que determina la potencia nominal, obtenemos el punto de funcionamiento  $P$ , cuya otra coordenada es la velocidad en carga,  $V_n$ . Para otra potencia, es decir, para otro par,  $T'$  por ejemplo, el punto de funcionamiento pasa a  $P'$ , mientras que la velocidad en carga pasa a ser  $V'_n$ . Si arrancamos un motor en vacío, su punto

FACTOR DE POTENCIA.- Cuando una corriente alterna senoidal atraviesa un circuito, la tensión y la intensidad que engendra en el mismo varían según una misma ley senoidal de idéntico período. Cada una de ellas pasa, una vez por período, por un máximo y por un mínimo. Pero, generalmente, el máximo de la tensión no se produce al mismo tiempo que el máximo de la intensidad, y lo mismo sucede, por consiguiente, para los valores mínimos.

La tensión tomada como origen, tiene por ecuación:

$$v = V \text{sen } \omega t$$

Mientras que la intensidad se expresa por:

$$i = I \text{sen } (\omega t + \phi);$$

Siendo  $\phi$  el ángulo de defasaje.

Un circuito resistivo puro es aquel que no es afectado por ningún coeficiente de auto-inducción ni de capacidad, caso rarísimo en la práctica. Este circuito constituye el único caso en el que no hay defasaje entre la tensión y la intensidad ( $\phi = 0$ ).

Se denomina circuito capacitivo, aquel en el que la intensidad de corriente está en avance con respecto a su tensión. Este nombre se deriva de que justamente una propiedad característica de los capacitores es producir un defasaje hacia delante de la corriente que lo atraviesa.

Se llama circuito reactivo, aquel en que la intensidad está retrasada con respecto a la tensión tal como representa la Figura 14. Este tipo de circuito se designa también con el calificativo de inductivo debido a la propiedad que poseen las bobinas de auto-inducción de retrasar respecto a la tensión la intensidad que las atraviesa.

El ángulo de defasaje  $\phi$  es tanto mayor cuanto más importante es el efecto inductivo del circuito. Pero no puede alcanzar  $90^\circ$ , puesto que no existe inducción perfecta, lo que requeriría una bobina desprovista de toda resistencia eléctrica.

Los circuitos estáticos de los motores de inducción son reactivos; su intensidad está retrasada con respecto a la tensión tal



de funcionamiento describe toda la característica durante la corta duración del arranque, y su velocidad de equilibrio se establece muy cerca de la velocidad de sincronismo, es decir, que su punto de funcionamiento está en  $P_v$ . Cuando aumentamos el par resistente, el punto de funcionamiento remonta la curva característica. Mientras el par resistente permanezca comprendido entre  $0$  y  $T_m$ , el motor estará en régimen estable: la velocidad disminuye si el par aumenta y viceversa y, a cada valor del par corresponde un valor de la velocidad y nada más.

Pero si el par resistente sobrepasa, aunque sea muy ligeramente el valor  $T_m$ , el motor cesa de girar: se dice que se ha "desenganchado" y, por este motivo,  $T_m$  recibe a veces la denominación de par de desenganche. Pero si luego reducimos lentamente el par resistente, el motor permanece parado mientras no demos a este par un valor inferior al par de arranque  $T_a$ . Sin embargo, esta condición no es aún suficiente para que el motor pueda arrancar con normalidad. Es preciso, necesariamente, que el par resistente sea inferior al par mínimo  $T_0$ , para que el funcionamiento del motor sea correcto. Si mantenemos el par resistente, por ejemplo en el valor  $T''$ , el punto de funcionamiento del motor estará en  $P_1$  o en  $P_2$ , según que la aplicación de este par al motor se haga antes o después de su paso por el par mínimo  $T_0$ . Pero, en ambos casos, el motor no ha alcanzado su velocidad de régimen. La zona de la característica par-velocidad a tensión constante comprendida entre el par de arranque  $T_a$  y el par máximo  $T_m$  caracteriza un funcionamiento inestable del motor, y no debe ser utilizada en funcionamiento normal: para un par resistente dado, puede haber dos velocidades distintas de rotación, y una variación negativa del par puede originar igualmente una variación negativa de la velocidad (Zona  $T_0 - T_m$ ).

Se ha precisado que la característica par-velocidad de la Figura 15 estaba establecida a tensión constante. En igualdad de condiciones, el par suministrado por un motor de inducción varía con el cuadrado de la tensión de alimentación. Si se aplica a un motor de este tipo un par resistente igual a su par nominal (para tensión nominal),

Puesto que  $\text{sen}^2 \omega t + \text{cos}^2 \omega t = 1$

Y finalmente,  $R = H$ .

Se demuestra de la misma manera, que tres espiras decaladas  $120^\circ$  en el espacio una con relación a la otra, y atravesadas por una corriente senoidal decalada en el tiempo de  $1/3$  de período en cada espira con relación a las otras (lo que es el caso de las corrientes trifásica) producen un campo giratorio según el mismo proceso. Si en cada espira, la componente del campo elemental varía de  $-H$  a  $+H$ , la resultante  $R$  del campo giratorio presentará esta vez el valor  $3H/2$ . Así pues, las espiras de los arrollamientos estatóricos del motor de inducción, aunque perfectamente inmóviles, dan origen a un campo giratorio, simplemente debido al hecho de que están alimentadas por una corriente polifásica senoidal.

Examinemos los efectos de este campo en el rotor (Fig. 13).

La componente  $H$  al girar, por ejemplo, en el sentido  $f$  interesará sucesivamente cada una de las barras del rotor que estará, por consiguiente, sometida a un campo magnético variando alternativamente de un valor nulo a un valor máximo. Según que  $H$  pase entre dos barras o por el eje de una de ellas.

Esta variación del campo magnético induce en las barras una corriente perpendicular al campo, puesto que este se propaga en las barras. Entonces, según las leyes del electromagnetismo, estas barras quedarán sometidas a una fuerza  $F$  dirigida de tal manera que tendrá por efecto oponerse a la causa que la ha producido (Ley de LENZ). Las barras tendrán, pues, tendencia a correr detrás del campo giratorio para suprimir la variación de flujo por disminución de la velocidad relativa de un campo con respecto al otro. El rotor girará, pues, en el mismo sentido que el campo giratorio.

Pero el rotor no alcanza jamás su objetivo. En efecto, si girase a la misma velocidad que el campo estatórico, no habría ya ninguna variación de flujo en las barras, es decir, corriente inducida en la jaula rotórica, por lo tanto, al quedar suprimidas las fuerzas  $F$ , ya no habría par motor, puesto que este no es otra cosa que el resulta-

do de la combinación de las fuerzas F actuando sobre cada una de las barras de la jaula. El hecho de que el rotor gire más lentamente que el campo magnético que le arrastra y que, por lo tanto, no llegue nunca a girar sincrónicamente con el, hace que se de a este tipo de motor el calificativo de asíncrono (que no es síncrono)

VELOCIDAD DE SINCRONISMO.- La velocidad de sincronismo es la del campo giratorio, expresado por el número de revoluciones por minuto (RPM). Solo depende de la frecuencia del sistema y del número de polos del motor. Se expresa mediante la relación:

$$V_s = \frac{120 f}{P}$$

En la que:

f es la frecuencia en ciclos por segundo (H<sub>2</sub>)

n es el número de polos del devanado estatorico

Esta relación demuestra que la velocidad de sincronismo es independiente de la tensión, así como del número de fases de la red de alimentación.

DESLIZAMIENTO.- En un motor de inducción sometido a una carga, es decir, sufriendo un cierto par resistente, existe un campo girando a la velocidad de sincronismo, mientras que el rotor gira más lentamente, condición absolutamente necesaria, tal como hemos visto, para que este motor suministre un par. Todo sucede, pues, como si el rotor deslizase con respecto al campo en el sentido opuesto al sentido de rotación común.

Si se designa por V<sub>s</sub> la velocidad de sincronismo y por V<sub>c</sub> la velocidad en carga, se llama deslizamiento "S" del rotor la relación, expresada en tanto por ciento:

$$S = \frac{V_s - V_c}{V_s} \times 100$$

$$\frac{S V_s}{100} = V_s - V_c$$

A igualdad de velocidad de sincronismo y de potencia, un motor es tanto más satisfactorio cuanto menor es su deslizamiento, o lo que es equivalente, cuanto mayor es su velocidad en carga.

$$V_c = V_s - \frac{S V_s}{100}$$

mientras que la tensión de la red a la que está conectado es, por decir, inferior en un 10% a su tensión nominal, todos los valores del par de este motor quedarán disminuídos en un 20%.

POTENCIA.- Existe una relación rígida entre el par  $T$  de un motor, su potencia  $P$  y su velocidad angular de rotación  $\omega$ :

$$P = T \omega \text{ o también } T = P/\omega$$

Cuando  $T$  está dado en libras-pie y  $\omega$  en radianes por segundo,  $P$  se obtiene en libras-pie por segundo. Pero es fácil pasar a las unidades usuales.

Sabemos que  $2\pi$  radianes equivalen a un ángulo de  $360^\circ$ , es decir, a una vez la circunferencia. Así pues, un motor girando a  $n$  revoluciones por minuto, posee una velocidad angular de:

$$\omega = 2\pi \times \text{RPM Radianes/Minuto}$$

Por otra parte un caballo de potencia (C.P.) equivale a 33,000 Lb-pie/Min., por lo tanto

$$P = \frac{T \times 2\pi \times \text{RPM}}{33000} = \frac{T \times \text{RPM}}{5250} \quad (\text{En C.P.})$$

Y de donde

$$T = \frac{5250 P}{\text{RPM}} \quad (\text{En Lb-pie})$$

### 3.- CLASIFICACION Y NORMAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

Los motores de inducción se pueden clasificar en varias formas (Fig. 16):

a).- Por su construcción eléctrica.

Jaula de Ardilla.

Rotor Devanado.

b).- Por su construcción mecánica.

Abiertos a prueba de goteo.

A prueba de intemperie.

Totalmente cerrados sin ventilación.

Totalmente cerrados con intercambiador de calor.

Totalmente cerrados con ventilación forzada.

A prueba de explosión.

c).- Por su tipo de montaje.

Horizontales.

Verticales.

d).- Por su rango de voltaje.

220/440 Volts.

2300 "

4000 "

6600 "

e).- Por su tipo de aplicación.

Usos Generales.

Usos Específicos.

**NORMAS.**- En los primeros días de los motores eléctricos, cada fabricante los construía de acuerdo a sus propias Normas. Cada marca de motor tenía diferente nomenclatura, dimensiones, rangos de valores etc. El resultado final fue una total confusión en el campo. Para

remediar esta situación se estableció en los Estados Unidos una asociación oficial conocida como National Electrical Manufacturers Association o NEMA.

La Norma Oficial Mexicana (NOM) para equipo eléctrico se basa y es prácticamente una traducción al Castellano de las Normas NEMA.

NEMA es una organización no comercial subsidiada y soportada por los fabricantes y proveedores de equipo eléctrico. Sus Normas son adoptadas por el interés público pretendiendo así, facilitar el entendimiento entre el fabricante y el usuario así como asesorar al Cliente en la selección y obtención del producto apropiado a sus necesidades.

OTRAS NORMAS.- A pesar de que casi la totalidad de las Normas usadas en la manufactura de motores eléctricos son establecidas por NEMA o NOM, existen algunas otras Normas que se utilizan tales como las del IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) para aislamientos, las del JIC (Joint Industry Conference) para requerimientos del equipo para industria automotriz etc.

DISEÑO ELECTRICICO.- Por lo que a diseño eléctrico se refiere, los motores eléctricos de inducción tipo jaula de ardilla se clasifican en cinco diferentes:

- Diseño Nema A
- " " B
- " " C
- " " D
- " " F

Es extremadamente importante entender las características de cada uno de estos diseños. En la mayoría de los casos se usará el diseño Nema B. Pero habrá ocasiones en que un diseño A C ó D puede manejar mejor la carga.

La gráfica de la Fig. 17, muestra las curvas par-velocidad para dichos diseños Nema A, B, C, D y F.

Las características de los diseños A y B son muy similares. La diferencia estriba en que las corrientes máximas o de arranque para el diseño B están limitadas por Normas; no así para el diseño A. El diseño A tiene un par de arranque ligeramente más bajo y un par máximo ligeramente más alto que el diseño B.

Un motor con diseño C, tiene un par de arranque mayor que el A o el B (225% aprox). En cambio el par máximo es menor que para los diseños A o B y a pesar de que no hay un punto definido para este par, su valor se establece en 190% aprox.

El diseño Nema D desarrolla un par de arranque muy alto y es aprox. el 275% del par a plena carga. Sin embargo como puede verse en la curva, el par decae gradualmente durante el período de aceleración, por lo que no hay un par máximo o de desenganche bien definido como en los diseños A y B.

El diseño Nema F tiene un muy bajo par de arranque y un par máximo moderado. Su única característica deseable es la baja corriente absorbida en el arranque.

## SELECCION, APLICACION Y MANTENIMIENTO DE MOTORES DE INDUCCION TIPO JAULA

En el presente trabajo se indican los puntos notables en la selección y aplicación de los motores de inducción tipo jaula, que en la actualidad son manufacturados por las empresas dedicadas a ello.

Es posible que la mayoría de ustedes conozcan los diferentes tipos de motores de inducción que existen; en la figura 1 se indica un cuadro sinóptico de los principales diseños conocidos, de los cuales en nuestra plática, hablaremos más particularmente de los motores trifásicos, tipo jaula de ardilla, que son los más empleados en nuestra industria en general.

Por lo tanto para una mejor explicación dividiremos estos tipos de motores tipo jaula en dos grandes grupos, de acuerdo a su diseño:

- 1.- MECANICO
- 2.- ELECTRICO

1.- DISEÑO MECANICO.- Al hablar del diseño mecánico nos referiremos al tipo de construcción o protección mecánica que poseen los motores para operar satisfactoriamente en las condiciones ambientales y de seguridad para las que fue seleccionado, estos tipos son los siguientes:

- a).- A prueba de goteo (APG)
- b).- Totalmente cerrados con ventilación exterior (TCCVE)
- c).- Protegidos contra la Intemperie tipo I (WP I)
- d).- Protegidos contra la Intemperie Tipo II (WP II)

Además por la posición de la flecha se dividen en:

- I.- Horizontales
- II.- Verticales

La descripción de cada uno de los tipos anteriores es:

- a).- A PRUEBA DE GOTEO.- Estos motores como lo indica su denominación, están contruídos para impedir que líquidos que goteen con ángulo de proyección no mayor de  $15^{\circ}$  con respecto a la vertical, no pene -



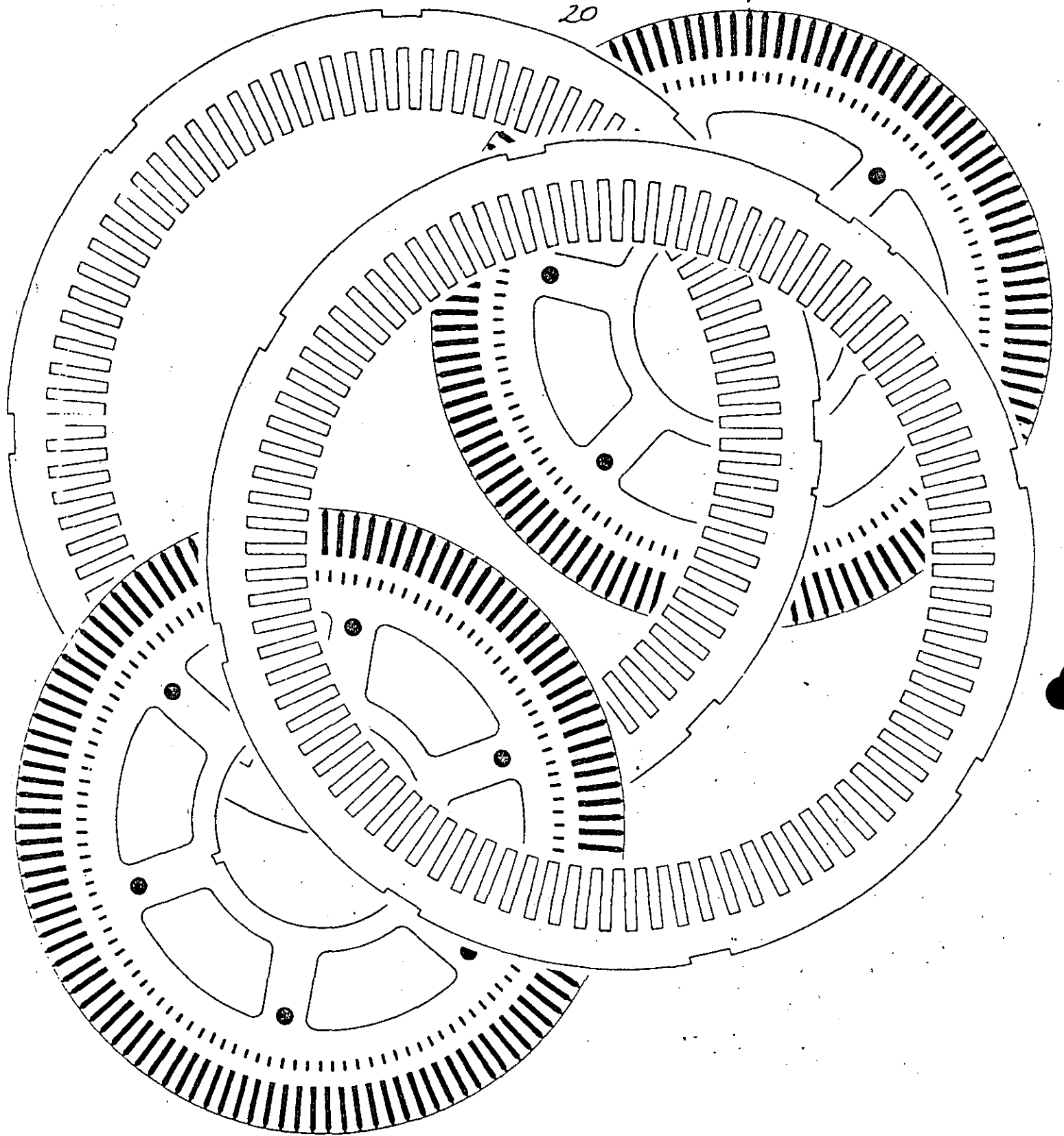
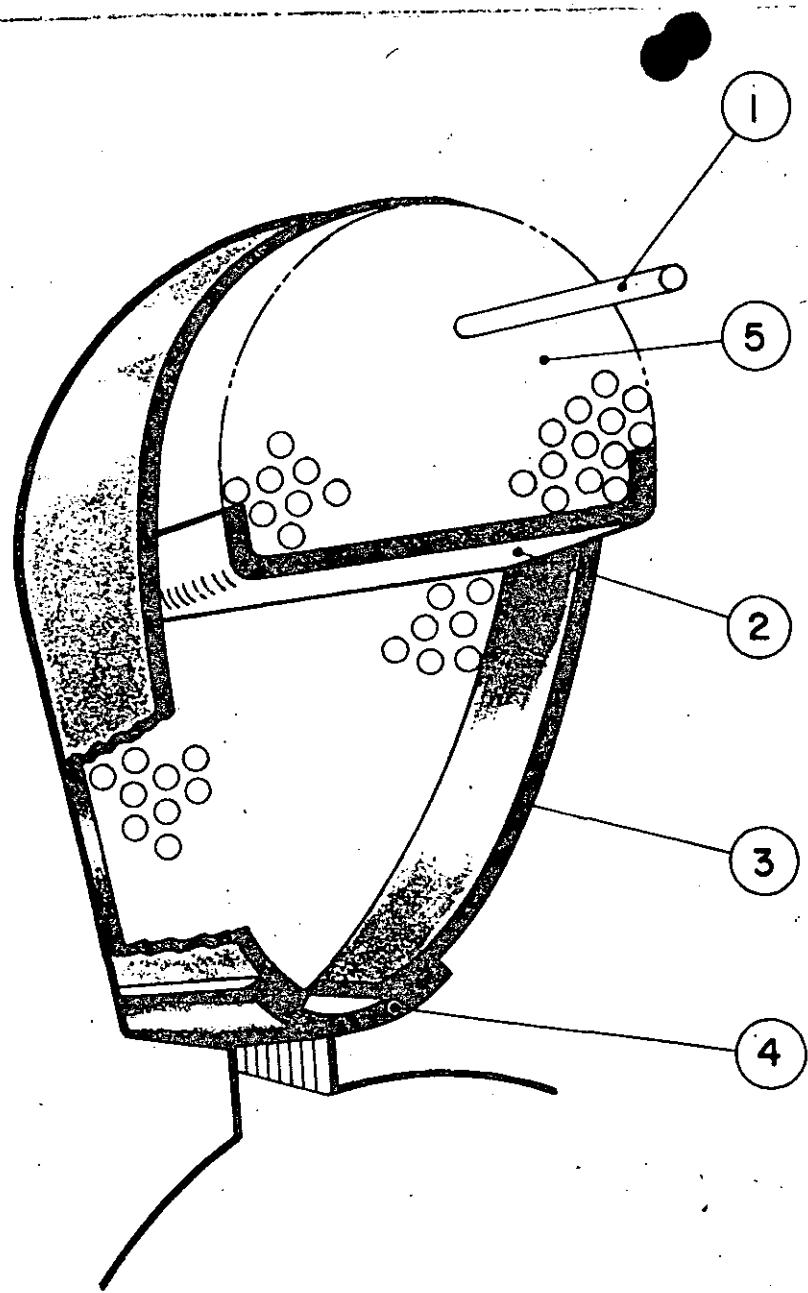


FIG. 3.- LAMINACIONES DE ROTOR Y ESTATOR



- 1.- ALAMBRE ESMALTADO
- 2.- AISLAMIENTO SEPARADOR DE BOBINAS
- 3.- AISLAMIENTO DE RANURA
- 4.- CUÑA DE CIERRE
- 5.- IMPREGNADO

FIG. 4.- VISTA CONVENCIONAL DE BOBINAS Y AISLAMIENTOS EN RANURA DE LAMINACION DE ESTATOR.

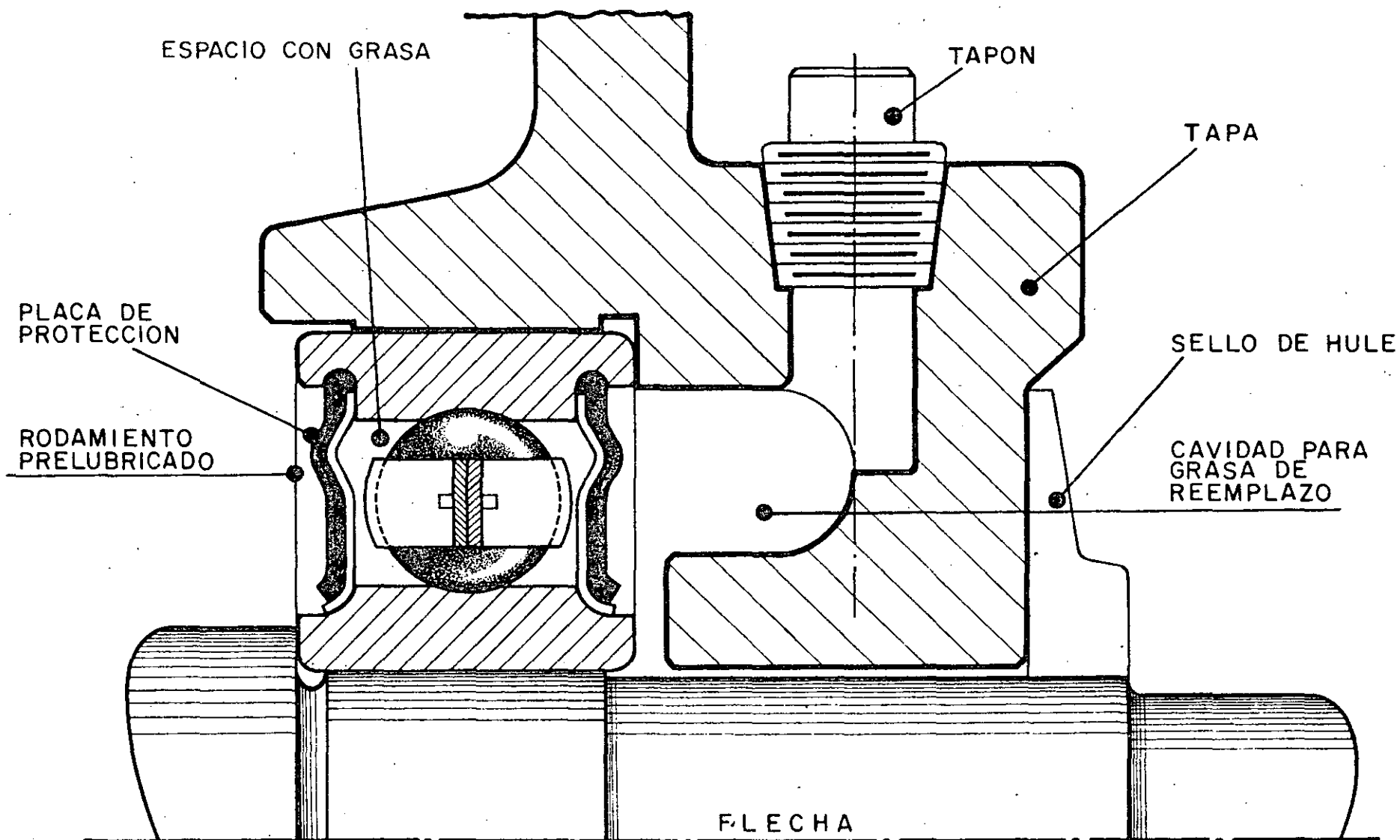
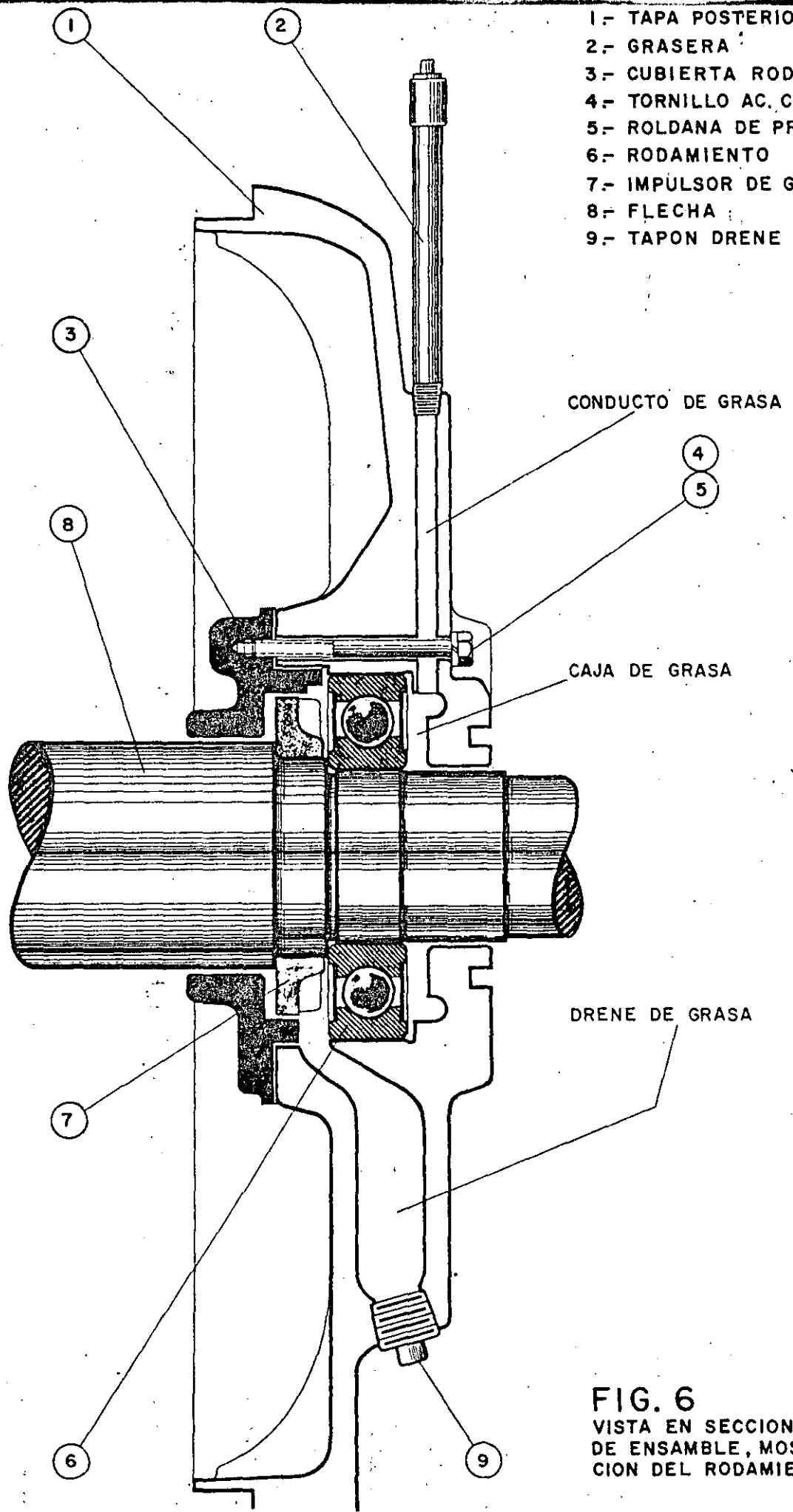


FIG. 5.- VISTA EN SECCION DE UN RODAMIENTO PRELUBRICADO, TAPA Y FLECHA

22

- 1- TAPA POSTERIOR
- 2- GRASERA
- 3- CUBIERTA RODAMIENTO
- 4- TORNILLO AC. CAB. HEXAGONAL
- 5- ROLDANA DE PRESION
- 6- RODAMIENTO
- 7- IMPULSOR DE GRASA
- 8- FLECHA
- 9- TAPON DRENE



**FIG. 6**  
 VISTA EN SECCION CONVENCIONAL  
 DE ENSAMBLE, MOSTRANDO LUBRICA-  
 CION DEL RODAMIENTO CON GRASA.

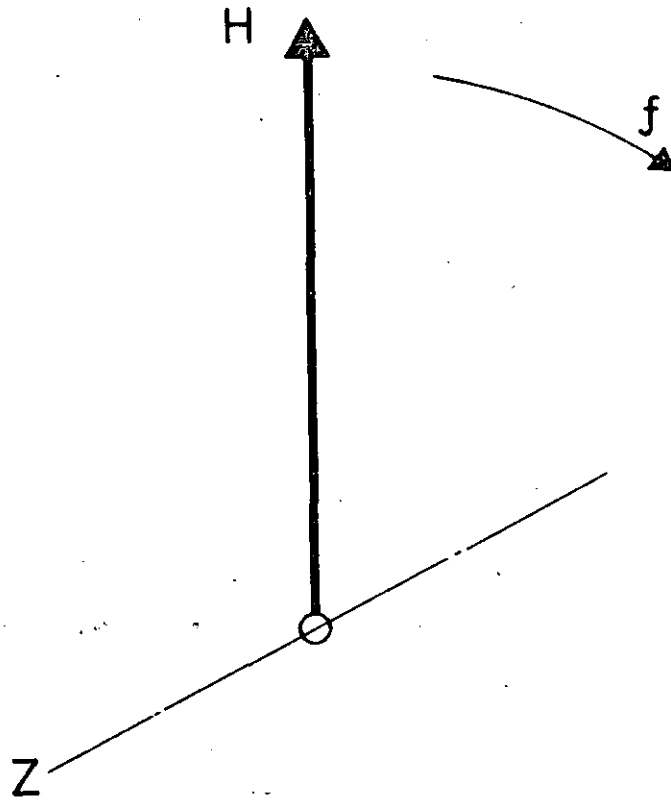


FIG. 7.- REPRESENTACION DE UN CAMPO MAGNETICO

24

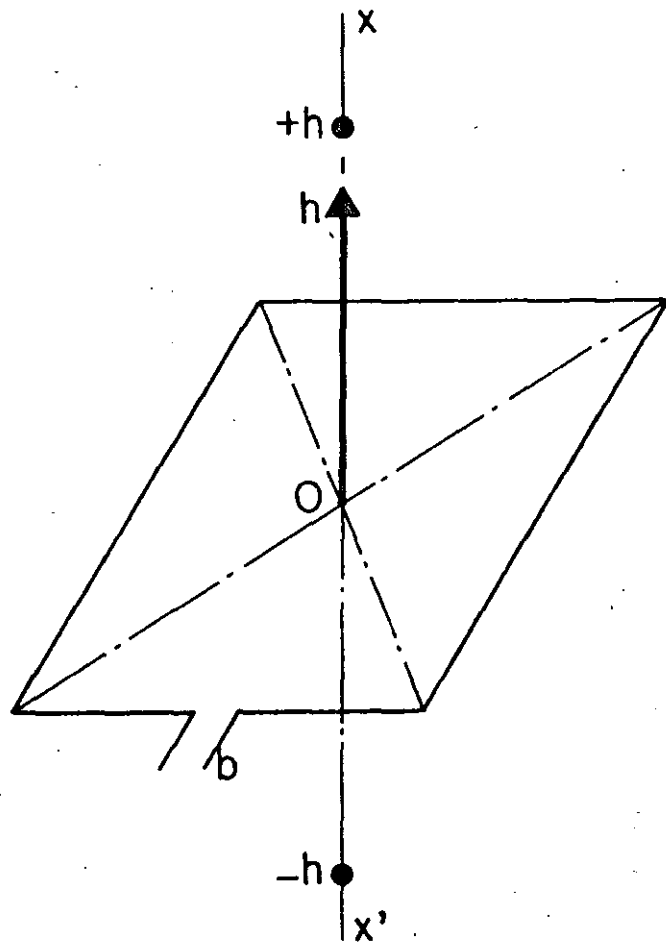


FIG. 8.- ESPIRA PLANA

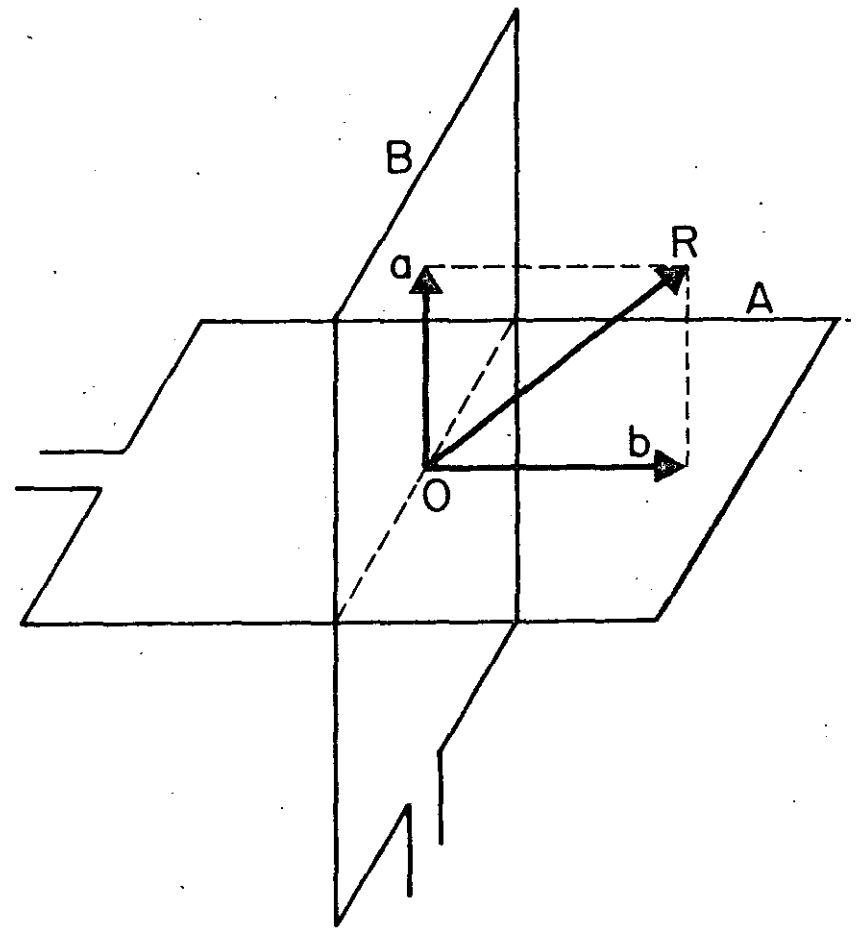


FIG. 9.- ESPIRAS PLANAS COLOCADAS PERPENDICULARMENTE.

25

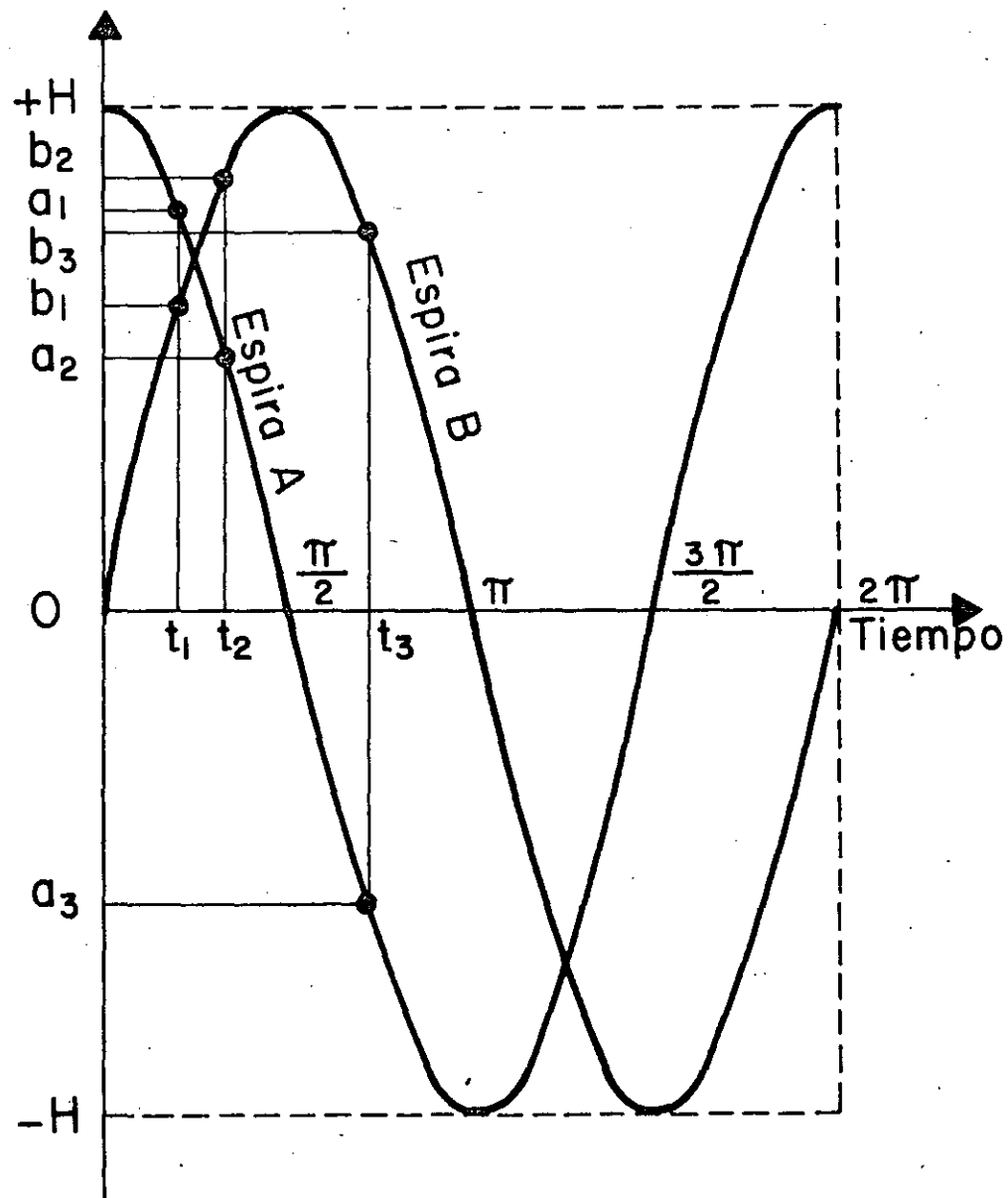


FIG. 10.- CORRIENTE BIFASICA EN ESPIRAS A Y B

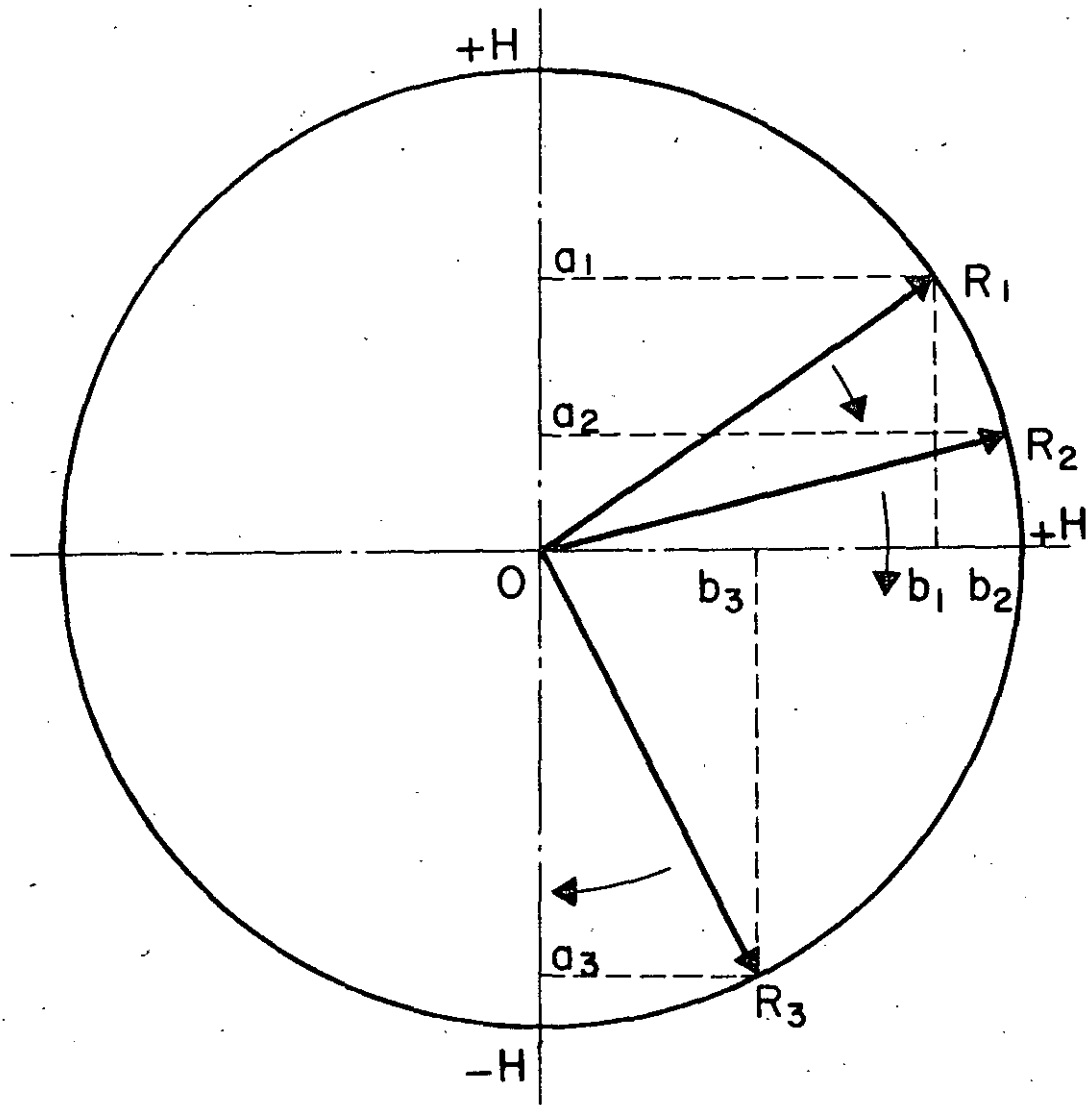


FIG. II.- VECTORES DE CAMPO MAGNETICO



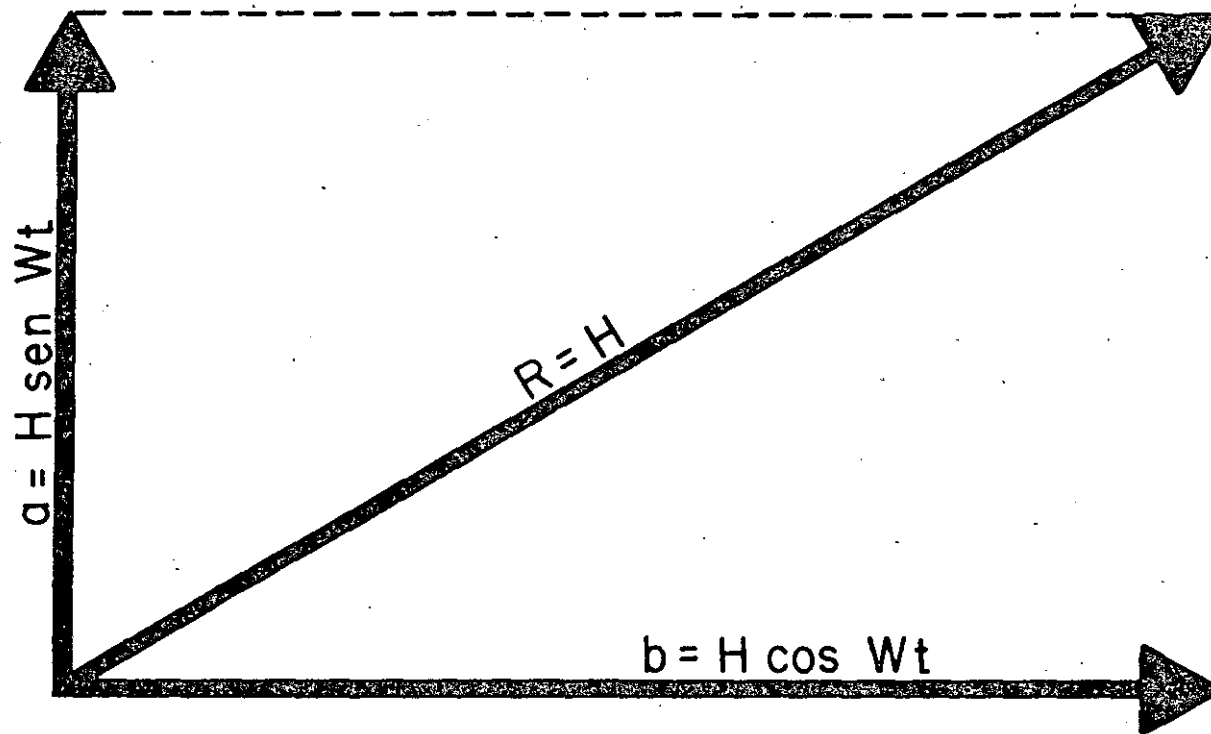


FIG. 12.- RESULTANTE DEL CAMPO MAGNETICO

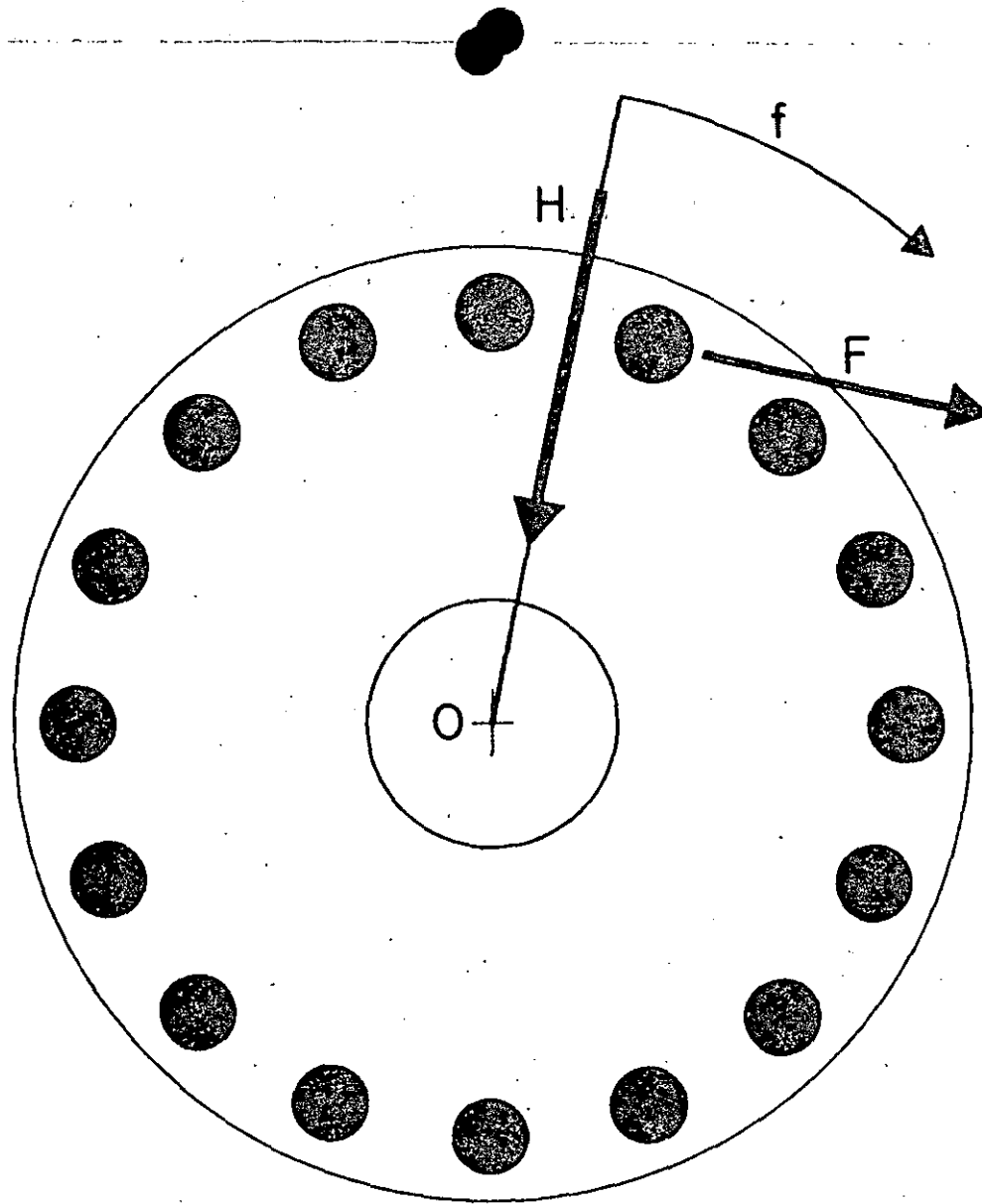


FIG. 13.- EFECTOS DEL CAMPO MAGNETICO EN EL ROTOR

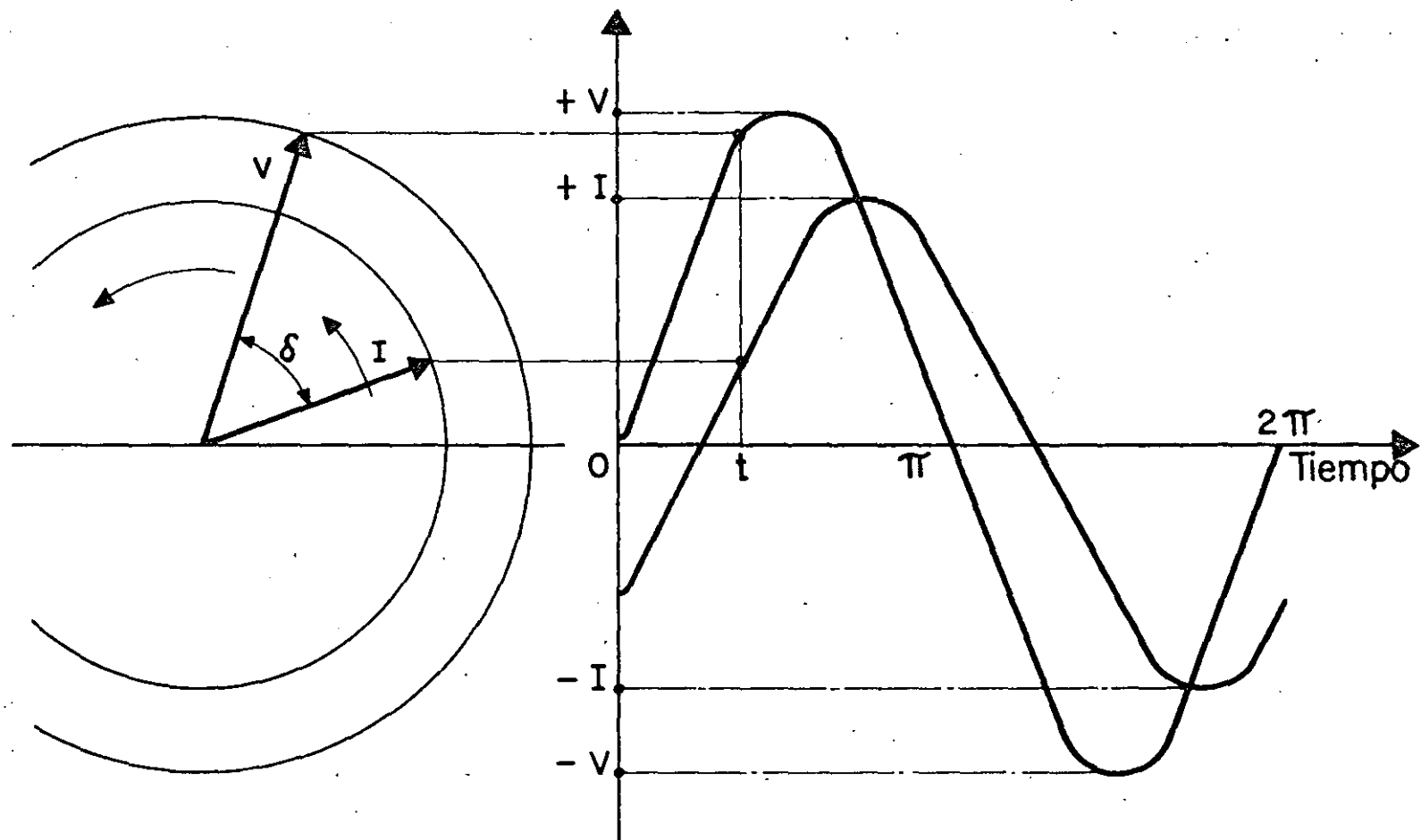


FIG. 14.- DEFASAJE ENTRE EL VOLTAJE Y LA INTENSIDAD DE CORRIENTE EN UN CIRCUITO REACTIVO.

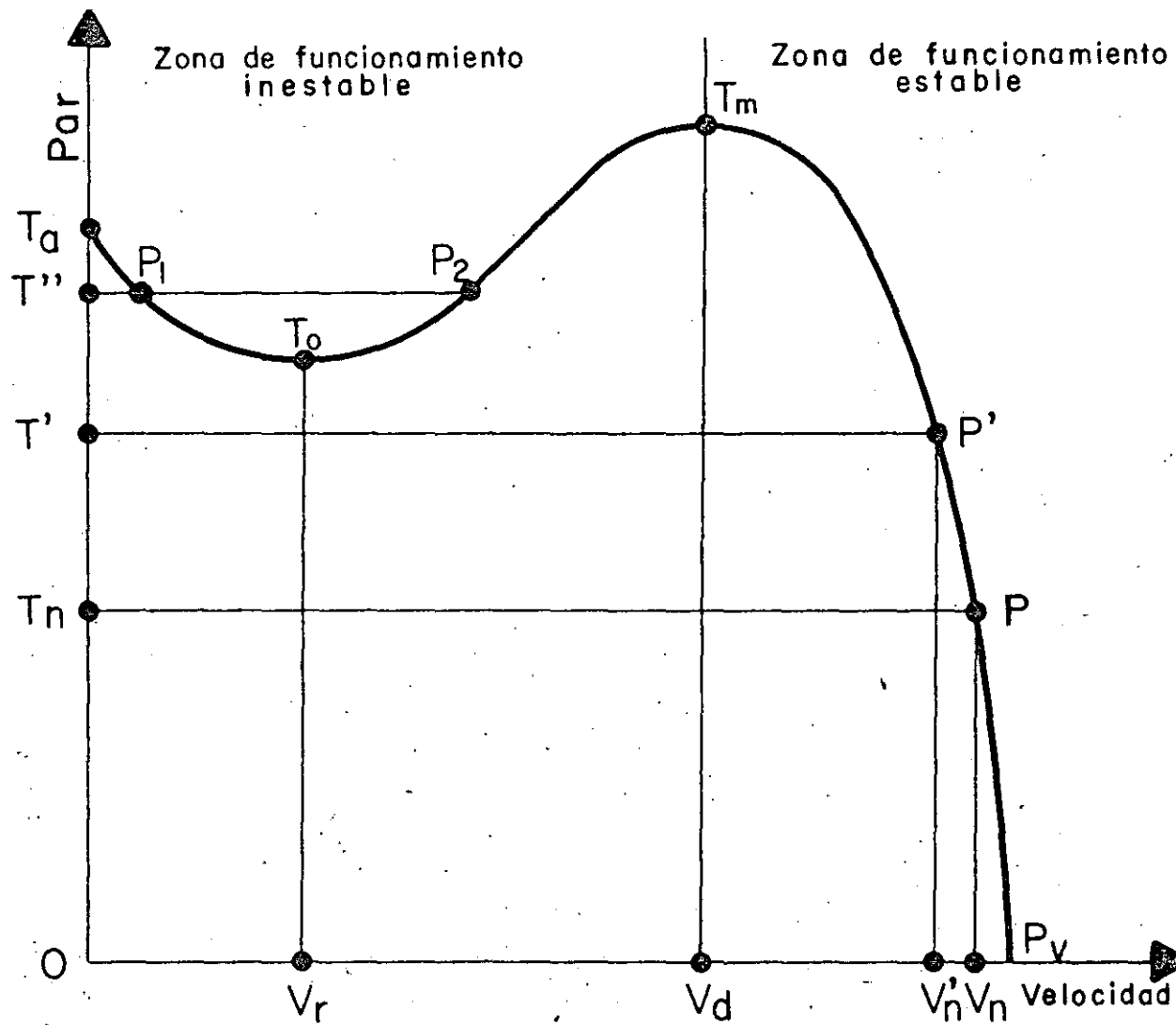


FIG. 15.- CURVA CARACTERISTICA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE INDUCCION, JAULA DE ARDILLA.

32

- 1: VERTICAL A PRUEBA DE GOTEO
- 2: HORIZONTAL A PRUEBA DE GOTEO
- 3: HORIZONTAL CERRADO CON VENTILACION
- 4: VERTICAL CERRADO
- 5: HORIZONTAL GRANDE A PRUEBA DE GOTEO
- 6: HORIZONTAL CERRADO
- 7: HORIZONTAL A PRUEBA DE GOTEO

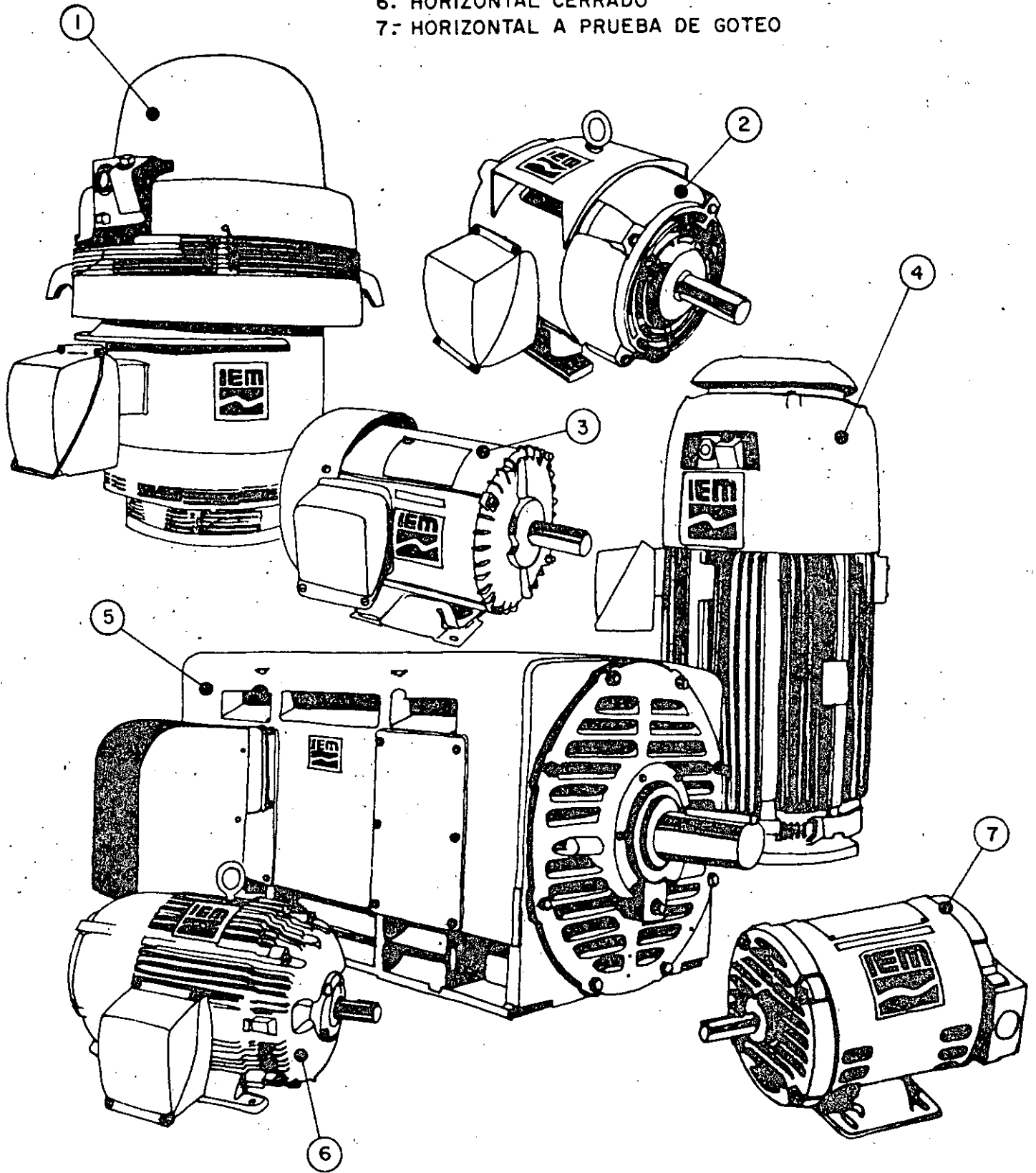


FIG. 16.- DIFERENTES TIPOS DE MOTORES DE INDUCCION

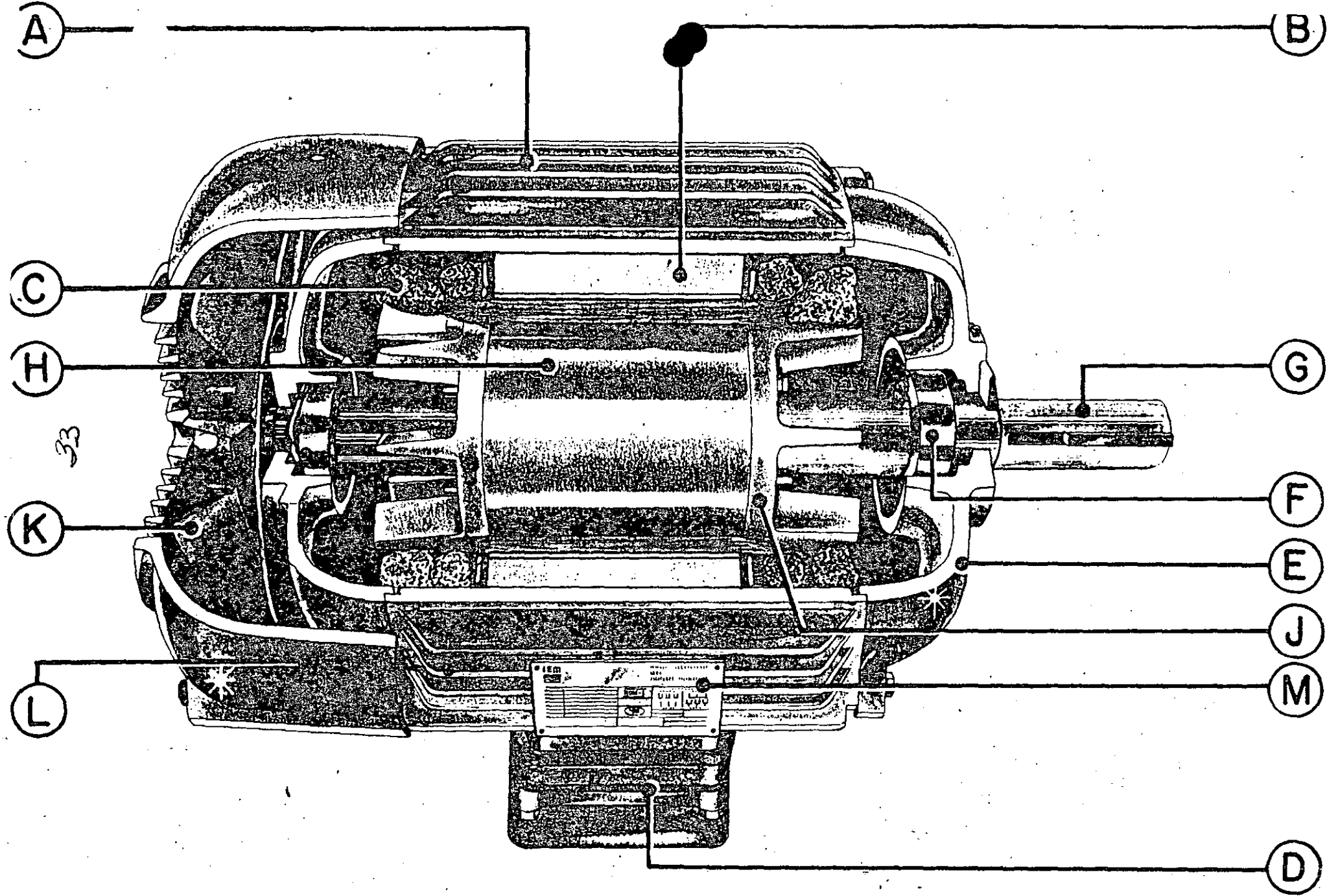


FIG. 1.-CORTE ESQUEMATICO DE UN MOTOR DE INDUCCION TIPO JAULA DE ARDILLA

tren hacia el interior del motor; sin embargo, el aire del medio ambiente tiene libre acceso al interior, con lo cual se tiene una muy buena disipación de la temperatura de los devanados y núcleos del motor.

La aplicación de este motor es la más generalizada en la industria y se les encuentra montados en máquinas herramientas, ventiladores, bombas centrífugas, ciertos tipos de transportadores. Es decir, en general estos motores encuentran su aplicación en aquellos lugares en donde el medio ambiente no sea perjudicial a las partes internas del motor y además no haya salpicadura de líquidos.

b).- TOTALMENTE CERRADOS CON VENTILACION EXTERIOR.- Este tipo de construcción nos proporciona un motor totalmente hermético y por lo tanto el aire del medio ambiente nunca llega a tocar sus devanados y núcleos.

La disipación de la temperatura del motor se hace por radiación a través de la superficie aleteada de la carcasa o armazón. Además, este calor es barrido por la acción de un ventilador que va montado sobre la extensión frontal de la flecha, por lo tanto al girar ésta obliga a disipar más rápidamente la temperatura o calor del motor.

Este tipo de motores se aplican para mover máquinas o equipos instalados en ambientes polvosos, abrasivos, húmedos y/o ligeramente corrosivos.

Se les encuentra acoplados a máquinas-herramientas, ventiladores, transportadores, quebradoras, etc. En general su aplicación es en aquellos lugares en donde el medio ambiente puede ser perjudicial a las partes internas del motor.

c).- PROTEGIDOS CONTRA LA INTEMPERIE TIPO I.- " Una máquina a prueba de intemperie Tipo I es una máquina abierta cuyas entradas para ventilación están construídas, de manera que se logra minimizar la entrada de lluvia, nieve y partículas de aire "cargadas", transportadas por (y/o a través de) el aire hacia las partes eléctricas, y cuyas aberturas de ventilación están construídas para prevenir (impedir) la entrada de una barra cilíndrica de 19 mm. (3/4") de diámetro".

d).- PROTEGIDOS CONTRA LA INTEMPERIE TIPO II.- " Una máquina a prueba de intemperie Tipo II es una máquina abierta cuyas entradas para ventilación están construídas de manera que se logra minimizar la entrada de lluvia, nieve y partículas de aire "cargadas", transportadas por (y/o a través de) el aire hacia las partes eléctricas, y cuyas aberturas de ventilación están construídas para prevenir (impedir) la entrada de una barra cilíndrica de 19 mm. (3/4") de diámetro.

Los pasajes de ventilación, tanto a la entrada como a la salida, deberán estar dispuestos de tal manera que aire de alta velocidad y partículas de aire "cargadas" sopladas hacia la máquina por temporales o vientos fuertes, pueden ser descargados sin entrar en los pasajes internos de ventilación que van directamente hacia las partes eléctricas de la máquina propiamente dicha. La trayectoria normal del aire de ventilación que entra a las partes eléctricas de la máquina, debe ser conducida por medio de deflectores o cuerpos separados de manera que produzcan por lo menos tres cambios de dirección, siendo ninguno de ellos menor de 90°. Además, se deberá proveer la trayectoria del aire de entrada, de una sección de baja velocidad que no exceda los 183 metros por minuto (600 pies por minuto), para minimizar la posibilidad de que se transporte hacia adentro de las partes eléctricas de la máquina humedad o suciedad.

I.- HORIZONTALES.- Tal como lo indica el nombre la operación de la flecha del motor es horizontal, esta es la construcción más generalizada y se combina con las descripciones mencionadas anteriormente.

Por lo tanto tendremos:

Motores horizontales a prueba de goteo; motores horizontales totalmente cerrados con ventilación exterior, etc.

II.- VERTICALES.- Este es el caso típico de los motores que se acoplan a bombas de pozo profundo, de recirculación o en máquinas cuyos diseños requieren que el motor opere con la flecha en posición vertical.

Igual que en el caso anterior, esta construcción se combina con las protecciones indicadas en a, b, c y d.



Existe en la industria un tipo de motores que por su aplicación en ambientes altamente peligrosos requieren de una construcción muy especial y estos son los motores totalmente cerrados con ventilación exterior a prueba de explosión.

Un MOTOR A PRUEBA DE EXPLOSION, tiene una construcción muy similar al motor totalmente cerrado, con la excepción de los espesores mínimos recomendados por los Laboratorios de Underwriters Laboratories de U.S.A., en la carcasa, tapas y caja de conexiones, así como ajustes muy precisos entre las tapas y la salida de la flecha, ajuste entre tapa y carcasa, cierre con superficie maquinada entre las dos mitades de la caja de conexiones, temperatura superficial que no exceda de 80°C totales, etc. Los motores a prueba de explosión se clasifican de acuerdo al Código Nacional Eléctrico en EE UU (National Electrical Code) en 3 clases:

CLASE I.- Líquidos y vapores o gases combustibles.

CLASE II.- Polvos combustibles.

CLASE III.- Fibras inflamables.

A su vez las clases I y II se dividen en grupos:

- |           |   |
|-----------|---|
|           | Grupo A : Acetileno   |
| Clase I   | Grupo B : Hidrógeno, gases o vapores de peligrosidad similar como gases fabricados.                 |
|           | Grupo C : Etil, Etileno, Ciclopropano.  |
|           | Grupo D : Gasolina, Hexano, Nafta, Bencina, Butano, Propano, Alcohol, Acetona, Bensol, Gas Natural. |
|           | Grupo E : Polvos metálicos, incluso Aluminio o Magnesio y otras aleaciones comerciales.             |
| Clase II  | Grupo F : Carbón Negro, Antracita o polvo de coque.   |
|           | Grupo G : Harina, Almidón, polvo de granos.   |
| Clase III | : Fibras Textiles.  |

Los grupos a su vez se dividen en:

División 1.- Comprende locales donde pueden existir gases o vapores inflamables, durante condiciones normales de operación, durante reparación o mantenimiento.

División 2.- Comprende locales en donde gases o vapores inflamables o líquidos volátiles se manejan ya sea en sistemas cerrados o confinados dentro de recipientes adecuados, o donde se evitan normalmente concentraciones peligrosas por medios mecánicos positivos de ventilación.

Las áreas adyacentes a los locales clasificados como división 1, hacia las cuales pueda haber flujo ocasional de gases, también pertenecen a la división 2.

En esta división por lo consiguiente se considere no peligrosa y por lo tanto pueden usar motores totalmente cerrados con ventilación exterior estándar, con excepción del ventilador que debe ser de material no chispeante.

Los motores para los grupos A, B y C deberán ser llenados con algún gas inerte. Estos motores tienen tapas herméticas y sellos de aceite alrededor de la flecha, para reducir las fugas del gas al mínimo, además tienen instrumentos lectores de presión para que en caso de alguna falla de presión, el sistema de control desconecte el motor, al mismo tiempo que haga funcionar una alarma. Estos motores son muy costosos, por lo tanto sólo se emplean en zonas demasiado peligrosas.

Los motores a prueba de explosión deberán tener paredes y un espesor mínimo adecuado para impedir que una explosión interna deteriore la carcasa o tapas, también las distancias de fuga deberán tener una longitud tal que los gases calientes que se producen internamente por una explosión o corto circuito, se deben enfriar para que al salir al medio ambiente no presenten un foco de principio de ignición.

Lo anterior se logra con espesores mínimos de 3/8 de pulgada y longitudes de fuga de mínimo: 2 a 2 1/2 pulgadas y con claros entre partes fijas y móviles (carcasas y flecha) de 25 milésimas máximo al diámetro, contando además con sellos en las flechas de material no chispeante bronce o latón con lo cual se evita cualquier producción de chispas entre partes fijas y partes móviles.

Es muy importante hacer notar que cuando un motor aprobado por UL para Locales peligrosos es abierto para su reparación, la aprobación queda anulada automáticamente a no ser que un Inspector autorizado por UL esté

presente para vigilar el trabajo de reparación y armado del motor, certificando esta persona el uso del motor para áreas peligrosas, además se deberá agregar una placa que diga "REPARADO" autorizada por el Inspector de Underwriters Laboratories Inc.

DISEÑO ELECTRICO

Por lo que a diseño eléctrico se refiere, se fabrican los siguientes:

DISEÑO B

DISEÑO C

DISEÑO D

DISEÑO B

El diseño "B" corresponde a aquellos motores cuya corriente y pares de arranque son normales. Corriente de arranque normal se considera aquella cuyo valor se encuentra entre 5 y 6 veces la corriente de carga plena de un motor y las cifras de los pares de arranque normales están tabuladas por las normas NEMA, así como por las normas nacionales (NOM y CONNIE), reconocidas oficialmente por la Secretaría de Industria y Comercio y elaboradas por los principales fabricantes de motores del país. Además, el deslizamiento de estos motores a carga plena debe ser de 1 a 5%.

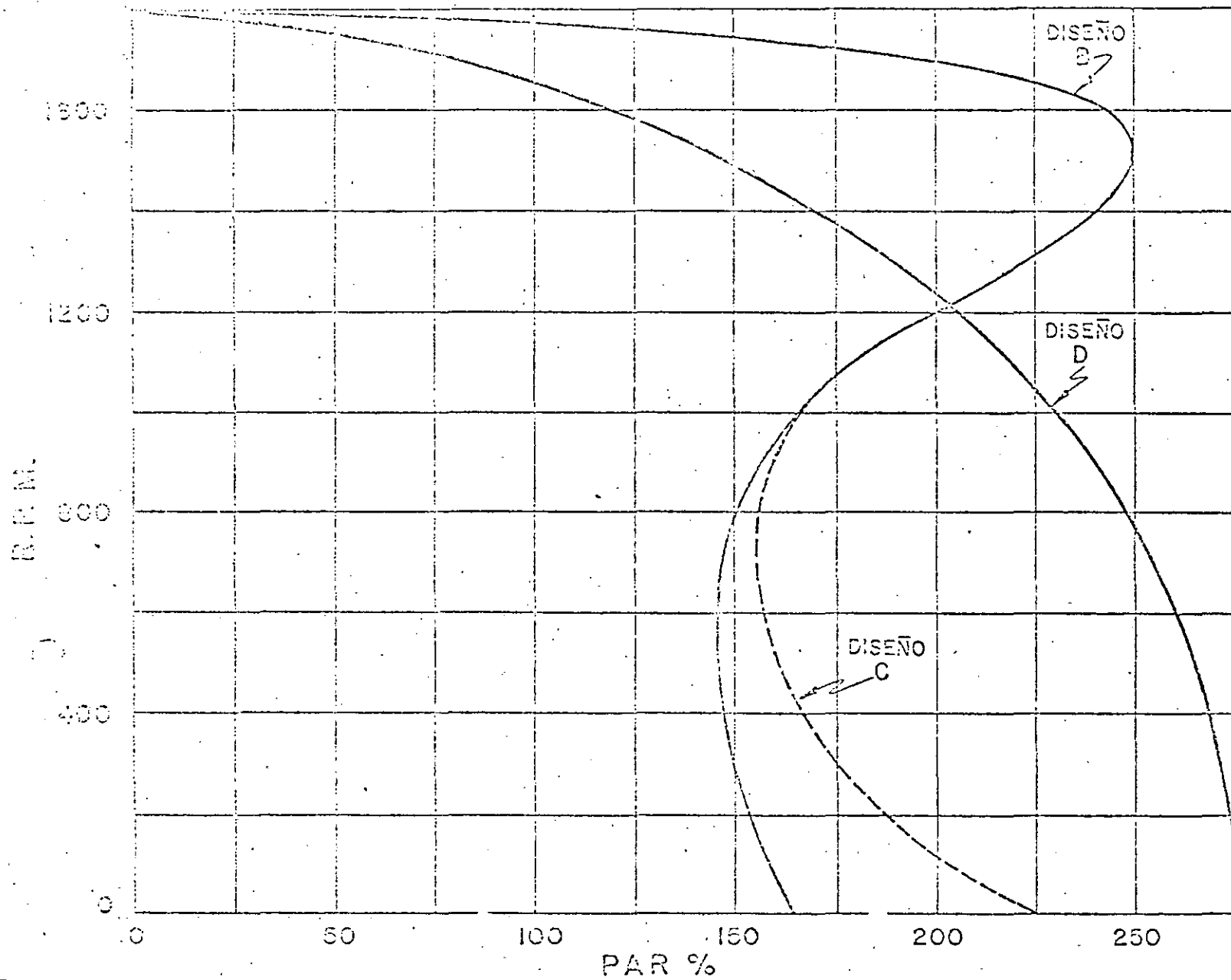
Obviamente, se comprende que este motor es el de mayor consumo y aplicación en la industria, ya que por propia conveniencia los fabricantes de maquinaria llevan a cabo sus diseños de tal manera que los motores que vayan a requerir sean los más apegados a lo que se conoce como motor estándar, desde el punto de vista de diseño eléctrico. Ver gráfica No. 1.

DISEÑO C

El diseño "C" se refiere a aquellos motores que teniendo una corriente normal de arranque, desarrolla pares de arranque superiores a los que desarrolla un motor de diseño "B". Los valores para par de arranque del diseño "C", también están tabulados tanto en las normas NEMA como en las nacionales.

PA = 200% mínimo.

GRAFICA I



39

Las características de este diseño hacen fácil de definir y comprender su campo de aplicación, ya que se refiere a todos aquellos casos en los que por la naturaleza de la carga, se requiere un momento con valor absoluto elevado, para vencer la inercia y una vez iniciado el movimiento, el comportamiento que se le solicita al motor es idéntico al del diseño "B". Un caso típico de aplicación para estos motores se refiere a transportadores, que por cualquier causa prevista, tenga que iniciar un ciclo de trabajo con la carga aplicada.

El deslizamiento de estos motores a carga plena debe ser de 2 a 5%. Ver gráfica No. 1.

DISEÑO D

El diseño "D" se refiere a motores que desarrollan un par de arranque nunca menor que el 275% del par a carga plena con una corriente de arranque normal y con un deslizamiento que nos permite hacer 3 grupos; el primero, que es el que INDUSTRIAS IEM fabrica, tiene un deslizamiento de 5 a 8%; el segundo, requiere un deslizamiento de 8 a 13% y el tercero de 13 a 18%.

Los motores de este tipo de diseño tienen su principal aplicación en máquinas como cizallas, prensas y en general en todos aquellos casos en donde el equipo a mover viene dotado de un volante cuya función es almacenar energía para "sacar a flote" al motor, durante los lapsos en que se presenta la demanda máxima de potencia.

Por lo consiguiente, al especificar un motor, entre otras características es necesario mencionar su tipo de diseño mecánico (protección contra el ambiente) y el tipo de diseño eléctrico. Ver gráfica 1.

APLICACION DE MOTORES DE INDUCCION

El problema de la aplicación de motores de inducción jaula de ardilla, se reduce esencialmente a determinar con el máximo cuidado los factores siguientes:

1. Características de la carga y del motor tales como: acoplamiento del motor a la carga, velocidad, capacidad en CP, pares requeridos, características de inercia, aceleración y ciclo de trabajo.
2. Sistemas de arranque del motor en relación a la fuente de energía alimentadora, tales como: variaciones permisibles de la tensión al aplicar la corriente de arranque y capacidad requerida en KVA.
3. Condiciones ambientales tales como: temperatura ambiente, altura sobre el nivel del mar, abuso mecánico y contaminantes. Estos factores determinan el tipo de aislamiento, así como la cubierta o protección del motor.

Características de la carga y del motor

Métodos de acoplamiento:

Acoplamiento directo. Las estadísticas demuestran que solamente el 20% de las máquinas movidas opera a la misma velocidad que el motor que la mueve. Cuando el motor se acopla directamente a la carga, las condiciones de aplicación son distintas que cuando se usa una transmisión intermedia para aumentar o disminuir la velocidad.

El acoplamiento directo sólo es práctico si la carga puede accionarse a la misma velocidad que el motor como sucede en bombas, compresores centrífugos y moto-generadores. Para estas aplicaciones lo más conveniente es usar un motor con extensión de flecha corta. Por lo que se refiere al problema mecánico de acoplamiento en sí, es necesario nivelar, alinear y anclar perfectamente el grupo.

Transmisión con banda o cadena. Al aplicar estos métodos de transmisión y reducción de velocidad a motores, deben comprobarse siempre dos factores:

- a).- Carga radial adicional sobre la chumacera o rodamiento del motor.
- b).- Carga combinada de flexión y torsión sobre la extensión de la flecha.

Los límites prácticos establecidos por NEMA para este tipo de transmisiones para asegurar buena vida en las chumaceras y prevenir esfuerzos excesivos en la flecha, son como sigue:

Motor Arm.	Nº de Polos	Velocidad Sincrónica, RPM	CP Máximos por Transmitir
256 T	2	3600	25
445 T	4	1800	200
445 T	6	1200	125
445 T	8	900	100

En el caso de transmisión por bandas V o banda plana es necesario proveer un dispositivo para ajustar la tensión. Esto puede ser una base de rieles deslizables.

La tendencia natural de la mayoría de los mecánicos es ajustar las bandas demasiado tensas. Una regla práctica que debe recordarse es que la banda o bandas que no patinan ligeramente al arrancar la carga, están demasiado tensas, esto acorta considerablemente la vida de la chumacera y puede causar vibración o fractura de la flecha.

Selección del motor:

Datos básicos. En general son tres los datos básicos que hay que conocer de una máquina para seleccionar el motor y son:

- a. La velocidad o velocidades de operación.
- b. La capacidad requerida en Caballos.
- c. Los pares requeridos en puntos críticos del ciclo de operación.

Velocidad. La velocidad debe calcularse en relación a la velocidad en la flecha del motor. Tómese en cuenta que el par varía en proporción inversa a la velocidad angular en el caso de transmisiones por engranes, banda o cadena.

Además la máquina puede requerir de:

- a. Una sola velocidad.
- b. Dos o más velocidades fijas.
- c. Velocidad infinitamente ajustable.

Potencia en CP. Este dato generalmente es más difícil de determinar que la velocidad; sin embargo, hay tres maneras fundamentales de obtenerla:

- A. Especificaciones o datos de placa. Si la máquina se ha comprado, la potencia requerida se especifica por el fabricante de la misma en su placa o se lista en las características de operación.
- B. Prueba. Si no hay manera de obtener los datos del fabricante, se puede aplicar un motor de características conocidas para duplicar las condiciones de operación. Midiendo con un analizador industrial los watts de entrada al motor, se deduce la potencia de:

$$\text{CP en la flecha} = \frac{\text{KW de entrada} \times \text{eficiencia del motor}}{736}$$

736

- C. Comparación. Si A o B resultan imprácticos, hágase una comparación cuidadosa de la máquina a propulsarse con máquinas similares cuyas necesidades de potencia sean conocidas. Este método es el más errático de los tres y solo debe usarse en casos extremos.

Pares. Los requerimientos de par de la máquina a moverse deben conocerse en tres condiciones adicionales a las del par a plena carga, éstas son:

- A. Par de arranque. Este es especialmente importante en cargas de alta fricción e inercia, tales como: compresores cargados, prensas troqueladoras con volantes pesados, molinos de bolas o martillos, molinos de hule o desmenuzadores de troncos en la industria del papel. Ver figura 2.
- B. Par de aceleración. En cargas de alta inercia tales como las antes mencionadas, el par en exceso que desarrolla el motor y que sirve para acelerar la carga en un tiempo determinado es importante para que el motor no se sobrecaliente. Este aspecto lo vere -



44

mos más en detalle al analizar las características de pares de de los motores. Ver Fig. 2.

- C. Par máximo. En el caso de cargas variables, el motor debe ser capaz de desarrollar suficiente Par para prevenir que el mismo se frene o se 'siente', cuando la demanda de energía por parte de la máquina accionada es máxima. Ver figura 2.

#### DEFINICION DE LOS PARES DEL MOTOR DE INDUCCION

Par y fuerza son similares, excepto que el término "fuerza" se usa cuando se habla de movimiento lineal y "par" cuando se trata de movimiento de rotación.

Par es el producto de fuerza (Kgs.) por el radio (mts.). El valor resulta pues en Kg-mts., que indica el número de kilogramos aplicados a un radio de tantos metros.

En el caso de una máquina accionada, el par es la fuerza rotacional que absorbe la máquina para moverse. En el de un motor, par indica la fuerza rotacional que el mismo produce en su flecha.

La curva típica "Par-Velocidad" de un motor de inducción mostrada en la Figura se ilustran los diferentes pares que desarrolla el motor:

"Par de arranque" es el que desarrolla el motor en reposo en el momento en que se le aplica energía eléctrica a sus devanados y la flecha empieza a girar.

La flecha en (1) muestra este par a velocidad cero, también se le llama "Par a rotor bloqueado".

El "Par Mínimo" se muestra en (2). Este es el parmínimo en el área de la cúspide que sigue al arranque. Como veremos más adelante, en muchos motores no hay este descenso de par, después de arrancar.

El "Par Máximo" es aquel que puede desarrollar el motor sin frenarse o "sentarse" súbitamente. Este se muestra en el punto (3) y generalmente se desarrolla alrededor del 80% de la velocidad sincrónica. También se le llama "Par de desenganche".

"Par de plena carga" es aquel que desarrolla el motor para producir la potencia de placa a la velocidad especificada, como se muestra en el punto (4) de la curva.

"Par de aceleración" es la diferencia o exceso de pares entre los desarrollados por el motor y los demandados por la carga. El área ahurada (5) es proporcional a la potencia en exceso desarrollada por el motor para acelerar la carga.

Los "pares de aceleración" son la diferencia entre las dos curvas y están dentro de esta misma área.

Estos pares son extremadamente importantes y deben entenderse perfectamente para aplicar adecuadamente los motores a cargas variadas.

#### CARACTERISTICAS DEL MOTOR

Existen cinco parámetros que definen las características de operación de un motor:

- Velocidad en RPM
- Capacidad en CP
- Par en Kg-mts.
- Corriente de arranque o máxima
- Aumento de temperatura

Los primeros tres ya han sido discutidos brevemente bajo "Selección del Motor" y en relación a la máquina cuyo motor tratamos de seleccionar. Los dos últimos parámetros cubren características del motor en sí. En la práctica debemos adecuar la velocidad del motor, su capacidad y sus características de par a la carga y después cerciorarnos que el motor operará dentro de sus límites de corriente y de temperatura.

Cada uno de estos parámetros se combina con todos los demás para producir un resultado total satisfactorio. Tenemos pues que analizar cada uno de ellos e interpretarlos, para lograr la aplicación correcta de los motores.

Interrelación entre potencia, par y velocidad

La interrelación de estos tres parámetros se define como sigue:

F = Fuerza en kilogramos

d = Distancia en metros

t = Tiempo en minutos

T = Par en Kg-mts. a un metro de radio

RPM = Velocidad angular en revoluciones por minuto.

$$\text{Potencia} = \frac{Fd}{t} = 2 \pi T \times \text{RPM Kgmts/min.}$$

$$1 \text{ CP} = 75 \text{ Kgmts/seg.} = 4500 \text{ Kgmts/min.}$$

$$\text{Potencia en CP} = \frac{T \times \text{RPM} \times 2 \pi}{4500}$$

$$\text{Potencia en CP} = \frac{T \times \text{RPM}}{716} \dots (I)$$

La simple fórmula anterior nos muestra la interrelación entre potencia, par y velocidad. Esta fórmula frecuentemente se olvida al seleccionar los motores.

Supongamos, por ejemplo, que tenemos una máquina que requiere un motor de 10 CP y que tiene una velocidad de operación de 1160 RPM. El cliente pide un motor de esa capacidad, 6 polos, que a la frecuencia de 60 hertz da precisamente esa velocidad, para transmitir con bandas V y poleas con relación de diámetros 1:1: sin embargo, el Ingeniero que ha comprendido la importancia de la fórmula anterior, puede demostrarle al cliente como ahorrar dinero al cambiar la relación de poleas usando un motor de la misma potencia, pero de mayor velocidad. Puede probar que seleccionando

un motor de 2 polos con 3475 RPM puede usarse una polea de 1/3 del diámetro original, o sea una relación de poleas de 1:3.

También puede proponer un motor de 4 polos con 1745 RPM y relación de poleas de 1:1.5.

A continuación hemos listado el costo relativo de los tres motores. El motor de 6 polos tiene más cobre y hierro para poder desarrollar un par mayor que los motores de 2 y 4 polos, (se tomará el motor de 4 polos como base comparativa).

Costo relativo de motores de 10 CP, abiertos.

Polos	Velocidad en la flecha a 60 Hz. RPM	Almacén	Costo Relativo
2	3475	213 T	103 %
4	1745	215T	100 %
6	1160	256 T	150 %

Si el cliente puede usar un motor de mayor velocidad, el ahorro es evidente y además el motor será más ligero y más fácil de montar.

Las únicas precauciones por tomar con motores de más alta velocidad, es el comprobar que la flecha es adecuada para transmitir por banda. También, si el sentido de rotación del motor tiene que invertirse frecuentemente, los motores de alta velocidad tienen menos capacidad térmica para ello que los de baja velocidad.

Factor de Servicio. La capacidad en CP estampada en la placa del motor, no necesariamente indica la capacidad máxima, excepto cuando el F.S.=1.0. Cuando el factor de servicio es superior a 1.0, por ejemplo 1.15, el motor podrá sobrecargarse sin peligro en un 15% por arriba de su capacidad nominal en forma continua; sin embargo, es importante hacer notar que el

factor de servicio solo es aplicable cuando prevalecen y se mantienen las condiciones de tensión y frecuencia establecidas en la placa. También, es preciso advertir al cliente, que el aplicar el factor de servicio aumentará la temperatura de operación del motor y afectará la vida útil del devanado, el factor de potencia, la eficiencia y la velocidad.

#### Sistemas de arranque aplicables al motor.

El problema de arranque del motor se refiere a las limitaciones que se presentan debidas a la capacidad de la fuente alimentadora, tales como caídas de tensión permisibles en el sistema al aplicar la corriente de arranque del motor y la capacidad momentánea en KVA que se requiere para este mismo objeto.

#### Arranque del motor a través de la línea.

Desde luego, el sistema más económico para arrancar un motor es a plena tensión conectándolo a través de un arrancador apropiado, directamente a la línea alimentadora.

Las ventajas de este sistema, además de la económica ya apuntada, es que el motor desarrollará sus plenos pares tanto de arranque como máximo o de desenganche; por lo cual, la carga se arrancará y se acelerará en forma rápida y segura.

Por otro lado las desventajas de este sistema de arranque también son múltiples y se refieren al hecho de que un motor de inducción toma entre cinco y seis veces el valor de la corriente de plena carga al ser arrancado a plena tensión. Esta fuerte demanda de energía y de corriente, aunque momentánea, puede ser indeseable por la elevada caída de tensión que se produce en las líneas alimentadoras, causando parpadeo en las luces o disturbios en equipo sensible a las variaciones de voltaje. También puede ser objetable desde el punto de vista de las limitaciones de demanda en

KVA que establece la compañía alimentadora de energía, o bien la propia subestación. Otro aspecto indeseable puede constituirlo la carga misma, que requiera una aceleración paulatina y amortiguada.

Por lo general, el arranque directo sobre la línea se puede efectuar hasta 50 CP en 220 Volts y hasta 100 CP en 440 Volts. Arriba de estos límites habrá que usar algún sistema de arranque a tensión o voltaje reducido. Localmente en el D.F. la Compañía de Luz limita estos valores a 7.5 CP en 220 Volts y 15 CP en 440 Volts.

Existen varios sistemas de arranque a tensión reducida que pueden usarse, pero generalmente solo uno de ellos producirá los resultados deseados en la forma más económica posible. Vamos a describir brevemente cuales son las aplicaciones de estos distintos arrancadores.

#### Arrancador con autotransformador.

Este es uno de los métodos más comúnmente usados para arrancar a voltaje reducido debido a su economía, eficiencia y flexibilidad para ajustar al voltaje de arranque deseado. Toda la energía aplicada se transmite al motor, excepto las pérdidas del autotransformador que son pequeñas, por lo que la carga se acelera suave y seguramente. Las derivaciones en el autotransformador permiten el ajuste de la corriente y del par de arranque, de acuerdo con las necesidades de la mayoría de aplicaciones. Las características que producen las tres derivaciones de voltaje comúnmente usadas son como sigue:

Derivación	Par de Arranque (% del par a plena tensión)	Corriente de arranque en la línea (% de la misma a plena tensión)
50%	25	28
65%	42	45
85%	64	67

Como puede apreciarse del cuadro anterior, tanto la corriente como el par varían en este caso en proporción inversa al cuadro del voltaje. La corriente aumenta ligeramente sobre la proporción indicada debido a la co -

### Fuente de magnetización del autotransformador.

Estos arrancadores se construyen para operación manual con transición abierta (se conocen vulgarmente como "compensadores") en capacidades hasta de 300 CP en 440 Volts y 60 Hertz.

También se construyen para operación automática con transición cerrada en capacidades hasta de 100 CP en 440 Volts y 60 Hertz.

La ventaja de la transición cerrada sobre la abierta, es que la aplicación de la tensión es suave y continua desde el valor reducido hasta el pleno voltaje. Como el motor no queda momentáneamente desconectado de la línea, no hay interrupción de la corriente de línea que podría causar un segundo transitorio de corriente durante la transición.

Los arrancadores con autotransformador se usan para arrancar cargas pesadas, tales como: compresores, bombas, molinos de bolas y de martillos, molinos de hule, centrífugas en la industria del azúcar, etc.

### Arrancadores con resistencias.

Estos arrancadores se usan poco porque no tienen ni la eficiencia, ni la flexibilidad del sistema anterior. Generalmente se construyen para reducir el voltaje aplicado al motor al 80% de su valor de línea, con lo cual la corriente de arranque se reduce en la misma proporción y el par de arranque se reduce al 64% de su valor a plena tensión. Ésto se logra conectando momentáneamente las resistencias de arranque en serie con los devanados del motor. El ciclo de arranque es de transición cerrada.

Se aplican para arrancar maquinaria delicada, como maquinaria textil, escaleras eléctricas y transportadores que tengan que arrancar suavemente.

### Arrancadores para devanado bipartido.

Estos arrancadores proveen un sistema de arranque muy económico, cuando

las necesidades de par durante el arranque pueden manejarse con el 50% del par a plena tensión. Pueden usarse con motores "standard" diseñados para voltaje dúal por ejemplo: 220/440 Volts en el voltaje menor, es decir 220 Volts. También pueden usarse con motores específicamente diseñados para este tipo de arranque, en cualquier otro voltaje.

Cuando se usen motores "standard" de voltaje dúal, es necesario cerciorarse de que el par desarrollado durante el arranque (50%) es suficiente para acelerar la carga lo suficientemente sin producir un transiente indeseado al conectar todo el devanado a la línea, o bien un "trancazo" o golpe en la carga movida al ser ésta acelerada a pleno par.

Este tipo de arrancador es muy usado para arrancar cargas ligeras como compresores descargados, bombas centrífugas, máquinas-herramientas, etc.

Se construyen en capacidades "standard" hasta de 200 CP en 440 Volts.

Arrancadores Estrella-Delta

Estos arrancadores muy usados en Europa son menos económicos que el arrancador de devanado bipartido, ya que requieren por lo menos de un contactor más de dos polos.

Se usan en aquellos casos en que los requerimientos de par durante el arranque son bajos (33% del par de arranque a plena tensión), pero el período de aceleración es prolongado debido a la alta inercia de la carga.

Se pueden usar con motores conectados en Delta para operación normal y que estén provistos con 6 puntas de salida (2 para cada una de las fases). Al arrancarse el motor conectado en Estrella se aplica aproximadamente el 58% del voltaje de línea a los devanados y el motor toma el 33% de la corriente normal de arranque y desarrolla 33% del par de arranque a plena tensión. Una vez que el motor ha acelerado, se reconecta en Delta para operación normal.

Generalmente se construyen estos arrancadores en capacidades "standard" hasta de 150 CP en 440 Volts, con transición abierta.



Si la transición abierta es objetable, debido a los inconvenientes ya apuntados, se puede construir este arrancador con transición cerrada, pero resulta relativamente caro por el equipo adicional requerido (un contactor de tres polos y tres resistencias de transición). En este caso, conviene analizar cuidadosamente si no es más económico usar un arrancador de autotransformador con transición cerrada.

SELECCION Y APLICACION DE MOTORES DE INDUCCION  
(SEGUN AMBIENTES)

Condiciones ambientales y aislamiento.

INTRODUCCION. La mayoría de los motores comprados en la actualidad son para ser usados en localizaciones comunes en donde el aire es relativamente limpio, la temperatura se mantiene dentro de límites normales tolerables por seres humanos y las condiciones extremas de carga en los motores solo se presentan excepcionalmente: sin embargo, miles de motores se usan en aplicaciones en donde estas condiciones ideales no existen. El propósito de este artículo es discutir los problemas que presentan las condiciones ambientales extremas y los sistemas de aislamiento disponibles para resolver estas aplicaciones.

Desde el punto de vista del usuario, el aislamiento es uno de los aspectos más importantes del motor, ya que es el elemento que decide:

LA VIDA UTIL DEL MOTOR y el mantenimiento aplicable al mismo.

Además los sistemas de aislamiento son constantemente investigados y desarrollados para mejorarlos. El adelanto tecnológico que se ha obtenido en este aspecto durante los últimos 20 años es muy notable.

Es por ello que el usuario de motores está vitalmente interesado en obtener el aislamiento que otorgue máxima protección a un costo razonable. Parte de la respuesta se encuentra en las características del sistema de aislamiento, mientras que la otra parte consiste en seleccionar la cu-

bierta en el motor más adecuado a la aplicación. Trataremos de cubrir ambos aspectos en este artículo.

Condiciones ambientales

Las condiciones que listamos a continuación son las que determinan las áreas problemáticas. Si alguna de ellas existe, hay que tomar medidas para proteger el motor o sus partes.

Condiciones ambientales perjudiciales

Temperatura ambiente (arriba de 40°C)  
 Altura sobre el nivel del mar (arriba de 1000 Mts.)  
 Abuso mecánico (por impacto o vibración)  
 Contaminantes atmosféricos:

- Agentes químicos corrosivos
- Agentes abrasivos (polvos y partículas)
- Agentes obstruyentes (polvo, pelusa, nieve)
- Humedad (alta humedad relativa, salpicadura)

Forma de los contaminantes:

Sólidos, líquidos o gases

Forma en que se mueven:

- Suspendidos en el aire.
- Cayendo por gravedad
- Rebotando de superficies adyacentes
- Impulsados por fuerzas definidas

TEMPERATURA AMBIENTE ALTA (ARRIBA DE 40°C)

Esta afecta en primer lugar a los aislamientos, causando deterioro rápido y envejecimiento. También reduce la viscosidad de la grasa o del aceite en las chumaceras, pudiendo llegar a degradar sus propiedades lubricantes.

Para afrontar este problema, deben usarse aislamientos especiales para temperaturas más altas como los clase F (155°C temp. total) o clase H

(180°C temp. total). Las chumaceras si son de bolas deberán ir cargadas con grasa para alta temperatura y los baleros deberán tener un juego interno entre bolas y pistas mayor que el normal (C-3 en lugar de C-2 que es el normal). Si el lubricante es aceite, este deberá ir provisto de aditivos especiales para mantener el índice de viscosidad a altas temperaturas, para inhibir la oxidación y reducir la fricción y el espumeo.

### GRAN ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

Este factor que es uno de los principales problemas en México, debido a su topografía, afecta el aumento de temperatura en los aislamientos. Al reducirse la densidad del aire con la altura, disminuye su capacidad refrigerante y la disipación del calor decrece.

Ahora bien, en los motores diseñados actualmente, se ha tomado en cuenta este factor para que el aumento de temperatura no exceda los valores normados por NOM a la altura de la ciudad de México (2,280 mts. sobre el nivel del mar).

En casos en que haya necesidad de operar los motores a alturas muy superiores a la arriba indicada, habrá necesidad de usar las mismas medidas ya indicadas.

La única ventaja que se presenta en este caso es que generalmente la temperatura ambiente decrece al aumentarse la altura.

### IMPACTO Y VIBRACION

Estas condiciones deterioran rápidamente al motor completo, causando rotura de las patas, armazón, tapas y flecha, causan fatiga y falla prematura en los rodamientos y aislamientos.

En esta condición, más vale prevenir que lamentar. Los factores antes apuntados pueden prevenirse mediante un alineamiento perfecto entre el

motor y la carga y comprobando que el balanceo dinámico de la carga no produzca vibración excesiva (arriba de 0.050 mm. de amplitud total).

Si el impacto se origina al arrancar y acelerar el motor, habrá que cambiar a algún sistema de arranque más suave y de transición cerrada, como quedó apuntado anteriormente.

CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

Estos, como ya apuntamos, pueden ser:

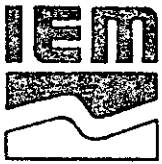
- Químicos corrosivos
- Polvos Abrasivos
- Polvos Obstruyentes
- Alta humedad relativa

Para hacer frente a estos agentes destructivos, se han desarrollado últimamente:

- a).- Un aislamiento especial a prueba de humedad, corrosión y abrasión (APH).
- b).- Motores totalmente cerrados con acabados epóxicos especiales y en los cuales naturalmente se aplica el aislamiento APH.

Estos motores se conocen bajo el nombre genérico de "Tipo Químico" y además de los factores antes enumerados, también llevan aislamientos "Clase F" para resistir las sobrecargas y altas temperaturas ambientales.

Para finalizar presentamos una tabla de selección de motores en función de las condiciones ambientales:



CLASIFICACION DE MOTORES ELECTRICOS

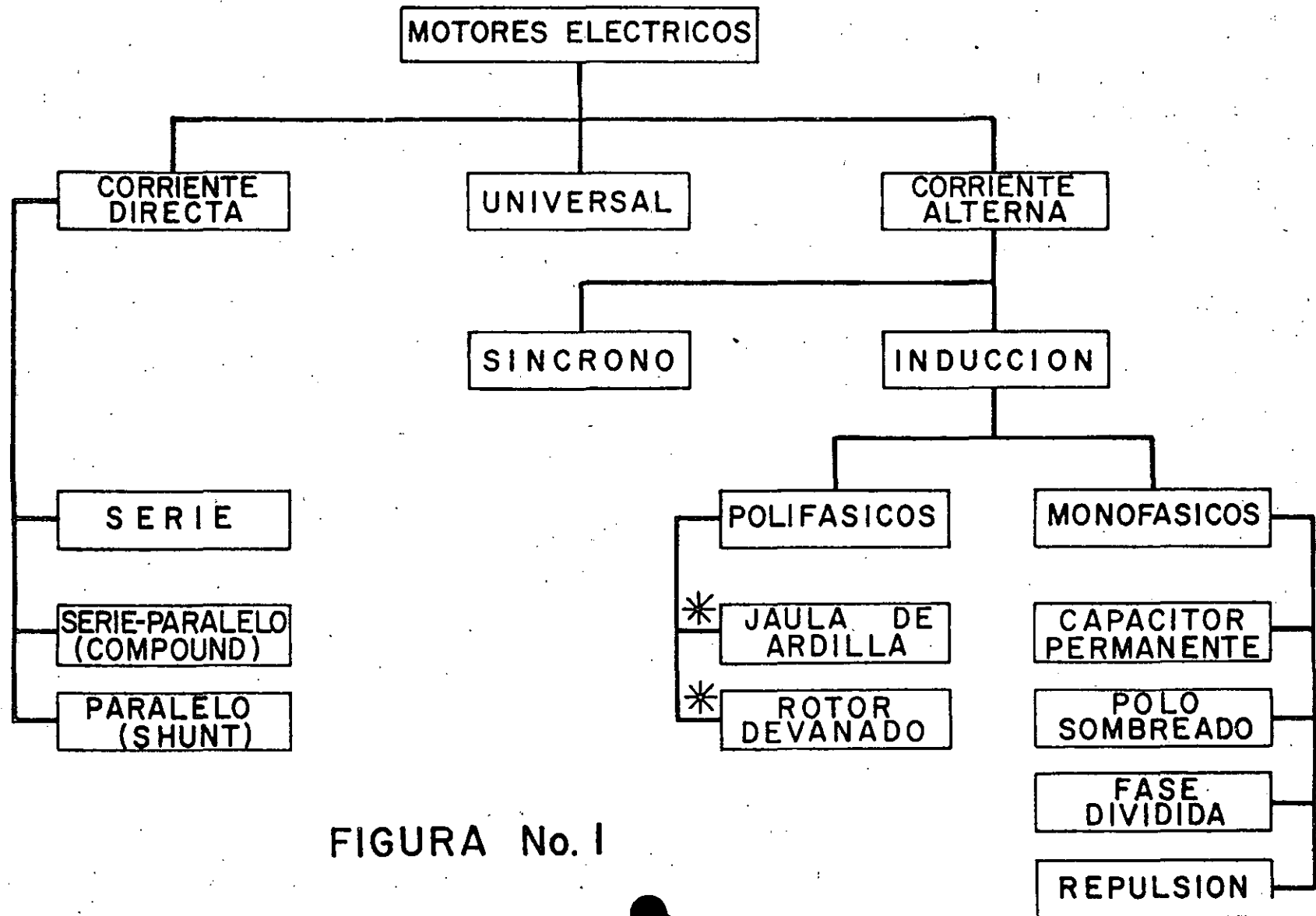
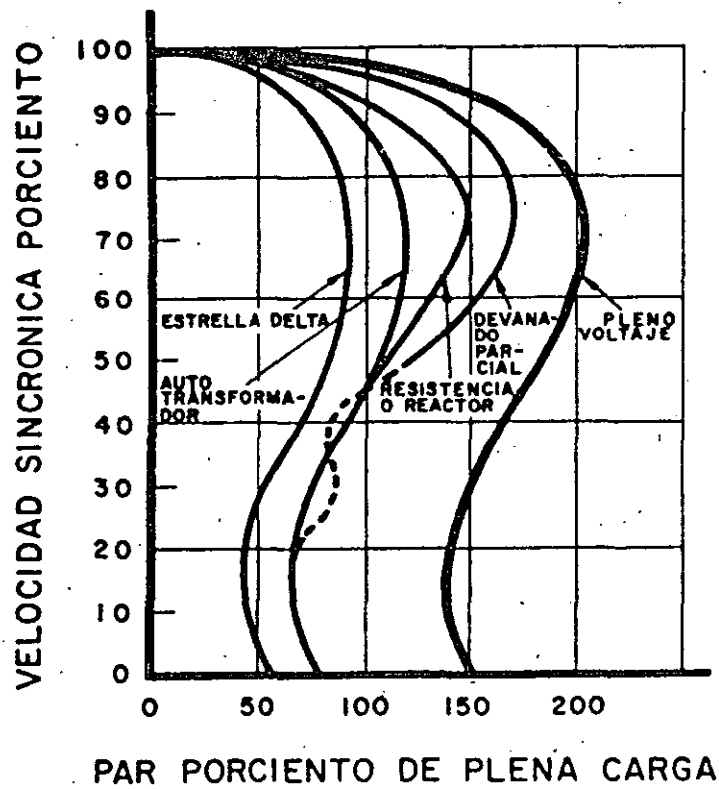


FIGURA No. I



EST

TIPOS DE MOTORES SON FABRICADOS POR, INDUSTRIAS IEM, s.a. de c.v.



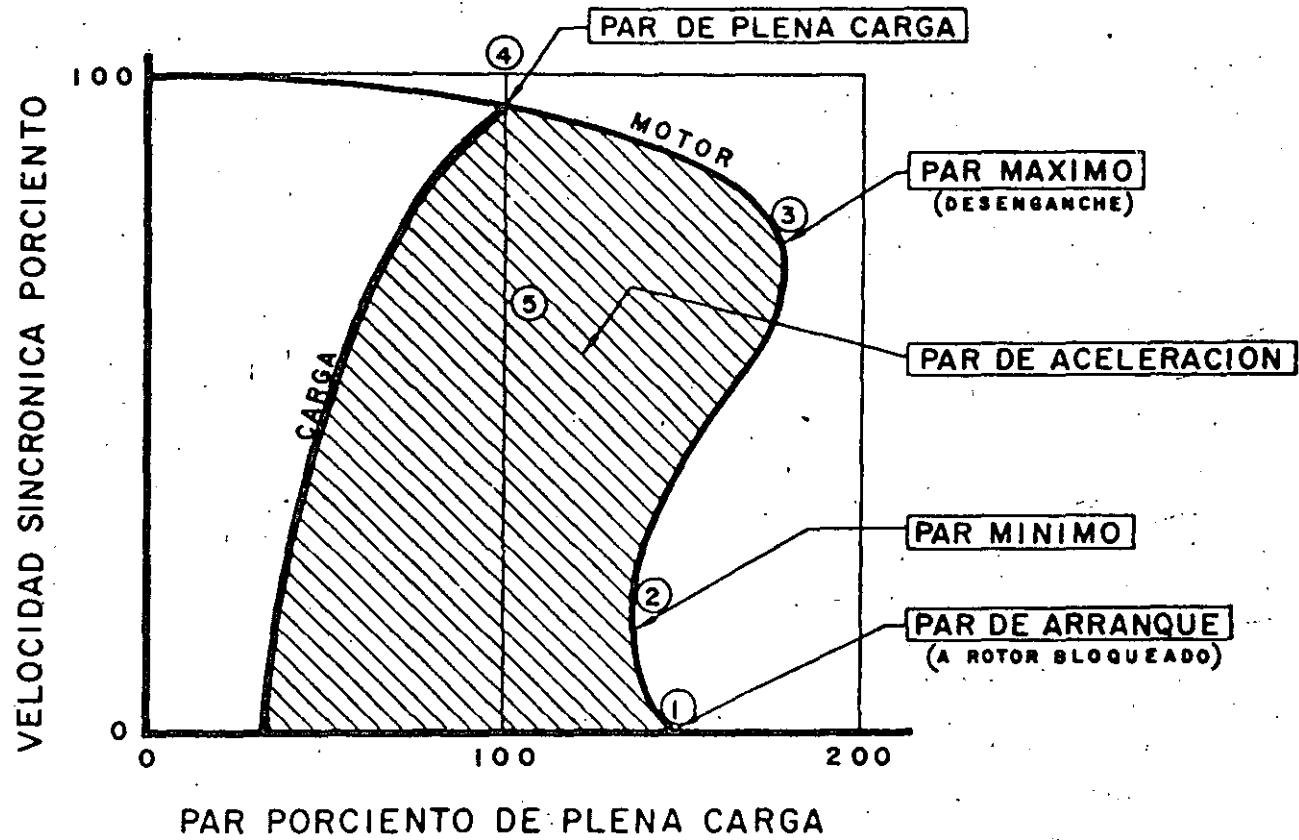
PORCIENTO DE PLENO VOLTAJE		
VOLTAJE	CORRIENTE	P A R
80 %	80 %	64 %
80 %	80 %	64 %
100 %	65 %	50 %
80 %	64 %	64 %
100 %	33 %	33 %

★  
○  
□  
▽  
△

★ RESISTENCIA  
○ REACTOR  
□ DEVANADO PARCIAL  
▽ AUTO TRANSFORMADOR  
△ ESTRELLA DELTA

— Características de Arranque a Tensión Reducida —

Fig. 7



— Pares de un Motor de Inducción —

## ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MOTOR

Para efectuar el nuevo diseño, se deben tomar como base los resultados de pruebas efectuadas al motor existente y todas sus especificaciones y características tales como sistema de ventilación, laminaciones y sistema de aislamiento utilizados, por ejemplo. Todos estos factores pueden ser exclusivos de un fabricante, sin embargo, para tener una idea general de los puntos que se deben considerar al efectuar el diseño completo de un motor de inducción, a continuación se enumeran los principales:

- 1).- Selección de tamaño de armazón o diámetro y longitud requeridos en el núcleo laminado.
  - 2).- Flujo magnético requerido.
  - 3).- Número de vueltas en serie en el estator.
  - 4).- Sección del conductor y densidades de corrientes permitidas.
  - 5).- Características de la ranura del estator (cálculo de constantes).
  - 6).- Cálculo de corrientes magnetizantes.
  - 7).- Cálculo de las corrientes reactivas remanentes.
  - 8).- Cálculo de las características de operación.
  - 9).- Cálculo de las condiciones de arranque.
  - 10).- Optimización sobre los resultados del cálculo.
  - 11).- Pruebas de Ingeniería para comprobar el diseño.
  - 12).- Optimización sobre los resultados de pruebas.
- 1).- En este punto se determina si el núcleo seleccionado es capaz de desarrollar la potencia requerida a una velocidad determinada o,



De otra manera, se puede determinar la longitud de núcleo requerido, en base al diámetro de la laminación seleccionada mediante la ecuación:

$$CP = K \times D_i \times L_n \times N$$

Donde k es el llamado coeficiente de potencia. Este coeficiente varía en relación a la velocidad y al paso polar, como se ilustra en la tabla.

- $D_i$  representa el diámetro interior de la laminación del estator en pulgadas.  
 $L_n$  Es la longitud axial neta del núcleo en pulgadas y  
 $N$  La velocidad aproximada de operación en revoluciones por minuto.

TABLA II  
 COEFICIENTE DE POTENCIA K

PASO POLAR EN PULGADAS	4 POLOS	8 POLOS	12 POLOS
5	--	250 X $10^{-7}$	265 X $10^{-7}$
7	222 X $10^{-7}$	329 X "	331 X "
10	336 X "	390 X "	394 X "
12	392 X "	436 X "	438 X "
16	434 X "	482 X "	484 X "
20	454 X "	505 X "	--

2).- El flujo magnético requerido se determina después de establecer el límite de la densidad de flujo en la sección o área del núcleo del estator. Estos límites son:

120 Kilolíneas/Pulg.<sup>2</sup> para motores abiertos.  
 110 " " " " cerrados.

3).- Este punto se asume para calcular el anterior por medio de la siguiente fórmula:

$$\phi = \frac{E \times 10^8}{4.44 \times \text{Vueltas/Fase} \times F.C. \times F.D.}$$

61

Donde:

$\Phi$  = Flujo magnético (líneas)

E = Voltaje de fase (volts)

f = Frecuencia (hertz)

F.C. = Factor de cuerdeo

$$F.C. = \text{Sen } \frac{\# \text{ de Dientes abarcados por bobina}}{\# \text{ de ranuras/ polo}} \times 90^\circ$$

F.D. = Factor de distribución .958 (valor práctico) y

$$\text{Vueltas/Fase} = \frac{\# \text{ Ranuras} \times \text{Vueltas/Bobina}}{3 \times \# \text{ Paralelos}}$$

4).- La sección del conductor se asume y su densidad de corriente no debe sobrepasar de 4500 amps/plg.<sup>2</sup>. Si con las consideraciones tomadas en este punto y en el anterior se obtiene el flujo requerido y se pueden alojar los conductores en la ranura, se puede continuar, si no es así, habrá que tomarse otras consideraciones.

5).- En este punto se determina si la ranura seleccionada es adecuada para alojar a los conductores, incluyendo los diferentes aislamientos y si sus partes proporcionan áreas suficientes para que las densidades de flujo no sobrepasen y por último, si cumple con estos requisitos, se determinan sus constantes para efectuar el cálculo.

6).- Este punto incluye, además del flujo magnético, las áreas y longitudes para las diferentes trayectorias del flujo y de estas los ampere-vueltas necesarios para determinar la corriente magnetizante.

7).- Aquí prácticamente se calcula la reactancia del motor dividida en reactancia de las ranuras del rotor y estator y en los extremos del devanado y la jaula del rotor.

8).- Las condiciones de operación incluyen el cálculo de las co -

rientes en el estator y rotor, el factor de potencia y la eficiencia a potencia nominal, partiendo de la corriente reactiva determinada en el punto anterior y asumiendo un valor para la componente activa de la corriente de operación, también se calculan las resistencias del devanado en el estator y en la jaula del rotor para determinar sus pérdidas y deducir la eficiencia, el deslizamiento y el par máximo que el motor será capaz de desarrollar.

9).- En este punto se analiza el efecto de la saturación sobre la reactancia y resistencia del secundario. Los valores en las reactivancias de Zig-Zag y en las ranuras del rotor y estator, así como la resistencia del rotor cambian, de las condiciones de operación a las de arranque y de estos nuevos valores se determina la impedancia en el arranque para finalmente calcular la corriente y el par de arranque.

10).- La primera optimización se efectúa, si es necesario, después de analizar los resultados del cálculo, ya que estos deben ser lo más aproximados a los valores requeridos o indicados por NORMAS.

11).- Las pruebas de Ingeniería incluyen:

- Saturación normal o en vacío.
- Saturación con carga.
- Operación.
- Saturación a rotor bloqueado.
- Par - Velocidad
- Incremento de temperatura.

Además de estas pruebas, se deben controlar, por supuesto, las características de los materiales empleados así como procesos de manufactura.

12).- Esta última optimización se efectúa después de comparar los resultados de las pruebas con los de cálculo.

Si estos no coinciden, se debe encontrar la razón de ello. Si el error se encuentra en una de las consideraciones para el cálculo y no en el proceso de manufactura, la optimización se logra reconsiderando uno

o varios de los cinco primeros puntos.

No siendo el objetivo de este trabajo el efectuar el cálculo de un motor, se hace la aclaración de que, la descripción de los 12 puntos anteriores se ha desarrollado solo para ilustrar la forma en que se diseñaron los motores por medio de cálculos empíricos hasta antes del empleo de las computadoras para la solución de los mismos. En un cálculo empírico como el descrito, se utilizan en el mejor de los casos aproximadamente 15 horas-hombre incluyendo la optimización del diseño. Como se puede entender, el uso de computadoras digitales proporciona rápidamente más medios a los Ingenieros de Diseño, para la solución de problemas en diversas áreas.

La computadora es una herramienta de trabajo tal como lo es una calculadora o una regla de cálculo y los Ingenieros de cualquier área, entre ellos los de diseño, encuentran día a día la forma de obtener el mayor provecho de esta herramienta, cuyas principales ventajas son:

- a).- La computadora opera muy rápidamente, lo que permite más investigaciones, lo que resulta en una optimización de los diseños y mejor atención a los consumidores.
- b).- Las computadoras son inherentes, libres de errores, no así las personas, que tienden a cometer errores difíciles de detectar.
- c).- La computadora, programada apropiadamente, produce resultados consistentes, ya que siempre se utiliza el mejor y más exacto método.
- d).- El Ingeniero se libera del peso de la rutina del cálculo, permitiéndole realizar otras tareas que requieran más de su capacidad.
- e).- Pueden ser utilizados métodos de cálculo más exactos, los cuales son generalmente más largos y tediosos, propiciando errores si se encomiendan a las personas.
- f).- Una computadora utilizada apropiadamente es una inversión con amortización a corto plazo ya que permite el incremento en las investigaciones de Ingeniería, así como el control de información administrativa sin aumento considerable en los costos.

Algunas de las aplicaciones más usuales de la computadora en el diseño de motores eléctricos son:

- 1).- Cálculos de rutina de comportamiento eléctrico (simulación de prueba).
- 2).- Cálculo del incremento de temperatura (por fórmula empírica).
- 3).- Optimización del uso de materiales.
- 4).- Selección de partes comunes o estandarizadas para diseños especiales.
- 5).- Cálculo de costos.

El costo de un cálculo por computadora es de aproximadamente 1/20 veces el costo del mismo cuando es efectuado por alguna persona mediante la forma descrita anteriormente. Se advierte el considerable ahorro, además de la facilidad de optimizar el diseño, el cual resulta también más confiable.

INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE INGENIERIA.

Las pruebas de ingenieria tienen por objeto comprobar y visualizar materialmente los valores calculados en el diseño. Obteniendo de esta forma. las magnitudes reales de la eficiencia, el factor de potencia, la corriente y el par de arranque, el incremento de temperatura, el deslizamiento, etc. Generalmente, estas pruebas se aplican solo a motores-prototipo o a aquellos en los que se ha efectuado algun cambio importante que afecte sus características. Esto es debido a que su ejecución es muy laboriosa y puede requerir de varios días de prueba de acuerdo con las necesidades del análisis del motor proyectado para lograr en esta forma la optimización del diseño del mismo cuando sea necesario.

Las siguientes se constituyen como pruebas de ingenieria:

- 1).- Resistencia ohmica.
- 2).- Incremento termico con carga.
- 3).- Operación.
- 4).- Saturación a rotor bloqueado.
- 5).- Saturación con carga.
- 6).- Par-velocidad.
- 7).- Saturación normal o en vacío.

1).- Prueba de resistencia Ohmica.

Esta medición se realiza con el fin de comprobar que el devanado del motor este correcto en cuanto a conexión, número de vueltas por bobina, número de alambres y calibres empleados. Además se obtienen datos para conocer el valor exacto de las pérdidas por efecto joule ocurridas durante la operación del motor.

Al medir la resistencia ohmica de los devanados, es necesario que el motor tenga una temperatura estable que conviene sea la ambiente, y con solo tres terminales libres, que se--

rán entre las que se tomen las lecturas de resistencia. Con el motor conectado en serie ( para 440 V ) y por medio - del puente de Kelvin, se tomaron las siguientes lecturas de resistencia entre terminales.

$$R_{t1-t2} = .3606 \text{ ohms a } 25^{\circ}\text{C.}$$

$$R_{t1-t3} = .3614 \text{ ohms a } 25^{\circ}\text{C}$$

$$R_{t2-t3} = .3620 \text{ ohms a } 25^{\circ}\text{C.}$$

Donde:  $R_{t1-t2}$  = Resistencia entre terminales T1 y T2

$R_{t1-t3}$  = Resistencia entre terminales T1 y T3

$R_{t2-t3}$  = Resistencia entre terminales T2 y T3

De las lecturas anteriores podemos deducir el desbalanceo - máximo que será:

$$\begin{aligned} \text{Desbalance} &= \left( \frac{\text{Valor Máximo entre terminales} - 1}{\text{Valor mínimo entre terminales}} \right) 100 \\ &= \left( \frac{.3620 - 1}{.3606} \right) 100 \\ &= 0.39 \% \end{aligned}$$

Generalmente se considera como aceptable un desbalanceo máximo de 5 % por lo que podemos decir que el valor anterior - es bueno.

2).- Prueba de incremento termico con carga.

La prueba de incremento termico o prueba de temperatura tiene como objetivo, comprobar mediante la aplicación de la carga nominal al motor, que cada una de sus partes opera a temperaturas permitidas por la clase de aislamiento emplea do. En la tabla V se dan los incrementos térmicos permisi---bles en el motor de acuerdo a la clase de aislamiento esta---blecidos por normas. Las cuales también establecen que la -- temperatura ambiente a la que debe efectuarse la prueba debe

estar dentro del rango de 10 a 40 °C.

El tiempo de duración de la prueba es, el que se requiere -- para la estabilización térmica del motor (incremento no mayor de un grado centigrado durante una hora).

Preparación.- Para medir la temperatura por el metodo directo, es necesario instalar termopares (fig 23) perfectamente adheridos por lo menos en los siguientes puntos:

- 1).- Cobre superior frontal.
- 2).- Cobre superior posterior.
- 3).- Nucleo superior frontal.
- 4).- Nucleo superior medio.
- 5).- Nucleo superior posterior.
- 6).- Caja de rodamiento frontal.
- 7).- Caja de rodamiento posterior.

Estos termopares deben estar protegidos en su parte exterior con fieltro o un material similar para evitar la influencia de temperaturas extrañas a la que se desea medir.

Ya ensamblados los termopares, se acopla el motor al electro diametro. El conjunto motor-electrodinamometro debe encontrar se protegido de cambios bruscos de temperaturas de corrientes de aire excesivas o de radiaciones calorificas cercanas.

Procedimiento.- Inicialmente, se verifica el sentido de giro de la flecha, a tensión reducida, frecuencia nominal y sin carga. Cuando el sentido de giro es el correcto, se aumenta gradualmente la tensión aplicada hasta alcanzar el valor nominal. Después se carga el motor, tambien paulatinamente hasta desarrollar su potencia de placa. Estas condiciones de -- tensión, frecuencia y carga deben mantenerse durante todo el tiempo de prueba. Las lecturas se toman cada media hora.

Al estabilizar la temperatura mas alta de los devanados (Registrada por termopar), es tiempo de suspender la energía de alimentación, dejando conectada momentaneamente la carga para un frenado efectivo y de tomar las lecturas de las resistencias ohmicas de los devanados en caliente del incremento de temperatura. La medición de la resistencia que permitirá calcular la temperatura de calentamiento debe, para ser vali



da, hacerse en los pocos segundos que siguen al paro del motor. En efecto, el equilibrio térmico, en cierto modo dinámico, que se había establecido en el motor en funcionamiento, - ha sido inmediatamente perturbado por el paro brutal de las pérdidas y de la ventilación. Una medición realizada demasiado tarde después del cese del funcionamiento normal del motor carecería de todo significado. Ahora bien, en la práctica, el operador debe primeramente cortar la corriente de alimentación, desconectar y desconectar los tres bornes del motor antes de poder conectar los aparatos de medida... y algunos segundos transcurren enseguida. Para tener en cuenta todo esto, se debe medir el tiempo transcurrido entre el paro del motor y la lectura de la resistencia y, posteriormente - tomar lecturas sucesivas de resistencia y temperatura durante cinco o seis minutos a intervalos de treinta segundos cada una para trazar la curva tiempo-resistencia, que al prolongarla hasta  $t = 0$  nos da la resistencia ohmica entre terminales en el momento del corte.

Resultados.- En la tabla VI se muestra el registro de los valores obtenidos durante la realización de esta prueba efectuada al motor que nos ocupa y en la figura 23 se muestra la curva tiempo-resistencia.

Interpretación.- En reposo, todos los elementos del motor están a la temperatura ambiente  $T_i$ , con la única condición de que el tiempo de reposo haya sido suficientemente largo para que el equilibrio térmico haya podido establecerse. Si  $T_y$  es la temperatura de las bobinas para un cierto estado de funcionamiento, se llama incremento térmico la diferencia:

$$AT = T_y - T_i$$

De corrientes de aire excesivas o de radiaciones caloríficas cercanas.

Procedimiento.- Inicialmente, se verifica el sentido de giro de la flecha, a tensión reducida, frecuencia nominal y -- sin carga. Cuando el sentido de giro es el correcto, se aumenta gradualmente la tensión aplicada hasta alcanzar el valor nominal., Después de se carga el motor, también paulatinamente hasta desarrollar su potencia de placa. Estas condiciones de tensión, frecuencia y carga deben mantenerse durante todo el tiempo de prueba. Las lecturas se toman cada media hora.

Al estabilizar la temperatura más alta de los devanados (registrada por termopar), es tiempo de suspender la energía de alimentación, dejando conectada momentaneamente la carga para un frenado efectivo y de tomar las lecturas de las resistencias ohmicas de los devanados en caliente, pues de este valor depende el calculo definitivo del incremento de temperatura. La medición de la resistencia que permitira calcular la temperatura de calentamiento deben, para ser válida, hacerse en los pocos segundos que siguen al paro del motor. En efecto, el equilibrio térmico, en cierto modo dinámico, que se había establecido en el motor en funcionamiento, ha sido inmediatamente perturbado por el paro brutal de las pérdidas y de la ventilación.. Una medición realizada demasiado tarde después del cese del funcionamiento normal del motor carecería de todo significado. Ahora bien, en la práctica, el operador debe primeramente cortar la corriente de alimentación, desconectar y desconectar los tres bornes del motor antes de poder conectar los aparatos de medida... y algunos segundos transcurren en seguida. Para tener en cuenta todo esto, se debe medir el tiempo transcurrido entre el paro del motor y la lectura de la resistencia y, posteriormente tomar lecturas sucesivas de resistencia y temperatura durante cinco o seis minutos, a intervalos de treinta segundos cada una para trazar la curva tiempo-resistencia, que al prolongarla hasta  $T =$  o nos da la resistencia ohmica entre terminales en

el momento del corte.

Resultados.- En la tabla V se muestra el registro de los valores obtenidos durante la realización de esta prueba efectuada al motor que nos ocupa y en la figura 23 se muestra la curva tiempo-resistencia.

Interpretación.- En reposo, todos los elementos del motor es tam a la temperatura ambiente  $T_i$ , con la única condición de que el tiempo de reposo haya sido suficientemente largo para que el equilibrio termico haya podido establecerse. Si  $T_y$  es la temperatura de las bobinas para un cierto estado de funcionamiento, se llama incremento térmico la diferencia:

$$AT = T_y - T_i$$

Y si  $T_z$  es la temperatura límite que pueden alcanzar los ais lantes del motor, la condición de no destrucción del mismo es que:

$$AT = T_z - T_i.$$

Por otro lado, si consideramos como  $R_i$  la resistencia de un arrollamiento a la temperatura  $T_i$ , y  $R_y$  su nueva resistencia a la temperatura  $T_y$ , estos cuatro valores estan ligados por la relación siguiente, válida para conductores de cobre y -- aluminio:

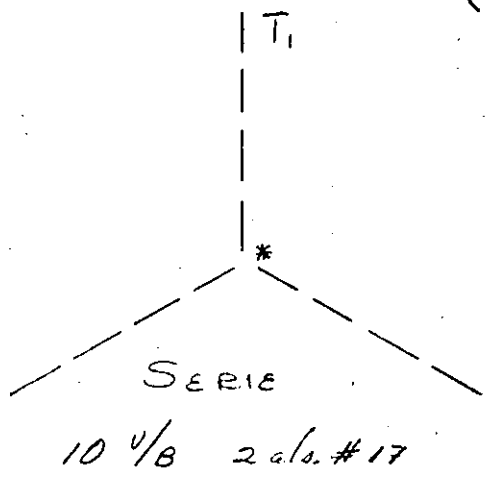
$$T_y = \frac{R_f (T_i + 234.5) - 234.5}{R_i}$$

71

APLICACION DE FORMULAS PRACTICAS DE DISEÑO

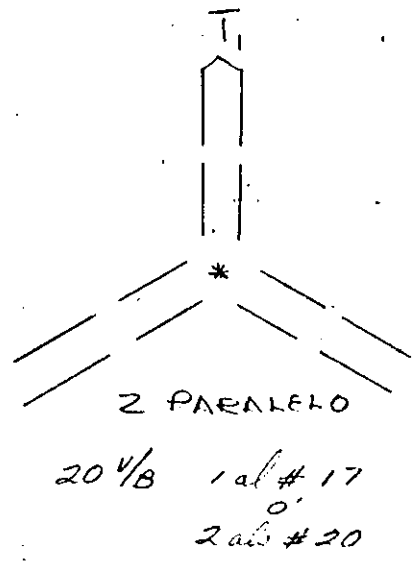
COMPARACION DE DEVANADOS "IGUALES"

(4 polos)

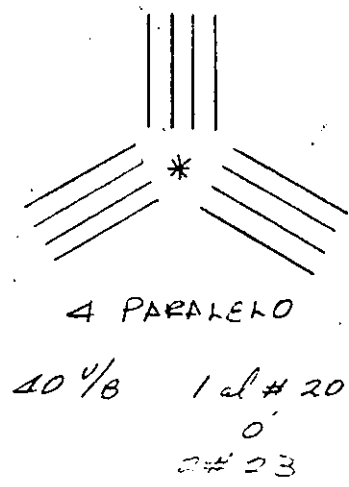


- 1 #14 = 2 #17
- 1 #17 = 2 #20
- 1 #20 = 2 #23

MAXIMOS TAMAÑOS DE HAMBRES



ARMAZON	MAX. TAMAÑO DE ALAMBRE
180T	# 17
280T	# 16
360T	# 15
440T	# 14



# MOTORES DE VARIAS VELOCIDADES

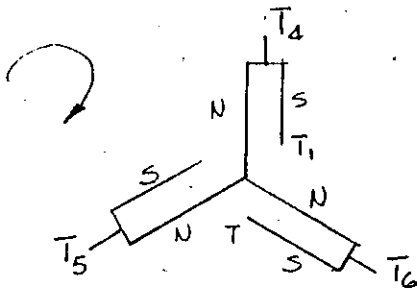
POLOS CONSECUENTES - UN DEVANADO (2/4, 4/8, 6/12 etc.)

1).- PAR VARIABLE (V.T.)  $HP \propto \left(\frac{\text{Alta Vel.}}{\text{Baja Vel.}}\right)^2 = 4:1$   $\Delta \rightarrow \Delta$  (ejem. 10/2.5 HP)

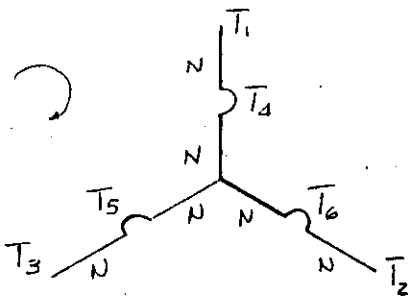
2).- PAR CONSTANTE (C.T.)  $HP \propto \frac{\text{Alta Vel.}}{\text{Baja Vel.}} = 2:1$   $\Delta \rightarrow \Delta$  (ejem. 10/5 HP)

3).- POTENCIA CONSTANTE (C.HP)  $HP - \text{constante} = 1:1$   $\Delta \rightarrow \Delta$  (ejem. 10/10 HP)

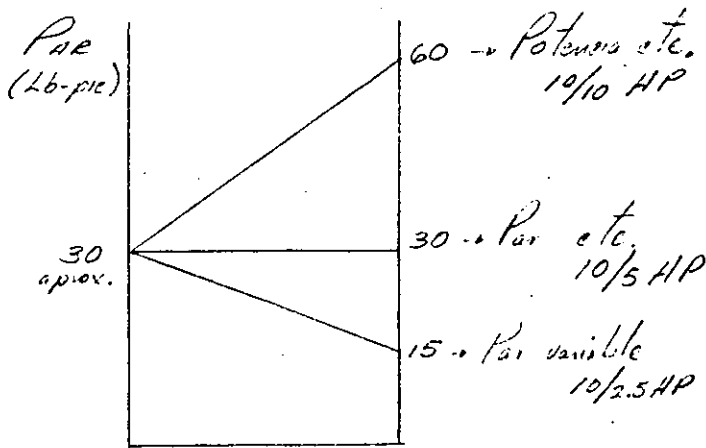
PAR VARIABLE



Alta Velocidad  $\frac{L_1}{T_6}$   $\frac{L_2}{T_4}$   $\frac{L_3}{T_5}$  Conectar  $\frac{T_1}{T_2/T_3}$



Baja Velocidad  $\frac{L_1}{T_1}$   $\frac{L_2}{T_2}$   $\frac{L_3}{T_3}$  Abierta  $\frac{T_4, T_5, T_6}{T_1, T_2, T_3}$



$$HP = \frac{P_{\text{ar nom.}} \times RPM}{5250}$$

$$P_{\text{ar nom.}} = \frac{HP \times 5250}{RPM}$$

Para 1800 RPM aproxim.:

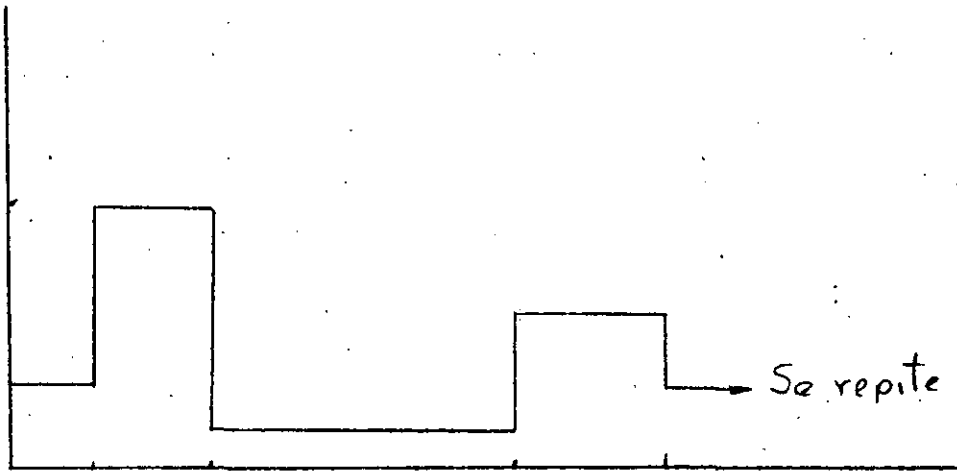
$$P_{\text{ar nom.}} \approx \frac{HP \times 5250}{1750} \approx 3 \times HP$$

$\left. \begin{array}{l} 2P - 1.5 HP \\ 4P - 3 HP \\ 6P - 4.5 HP \\ 8P - 6 HP \end{array} \right\} \approx P_{\text{ar nom.}}$

### CICLOS DE TRABAJO

Valor medio cuadrático (RMS HP)

- Se considera que el motor permanece corriendo (nunca para)



$$\begin{aligned}
 HP_{RMS} &= \sqrt{\frac{t \times HP^2 + T \times HP^2 + t \times HP^2 + \dots}{t + t + t \dots}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \times 2^2 + 3 \times 7^2 + 8 \times 1^2 + 4 \times 4^2}{2 + 3 + 8 + 4}} = 3.65 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

USAR 5 HP/

- Esta fórmula se basa en el hecho de que la temperatura se eleva proporcionalmente a  $I^2$  (que es  $HP^2$ )

Nótese que el promedio de HP es:

$$\frac{2 \times 2 + 3 \times 7 + 8 \times 1 + 4 \times 4}{2 + 3 + 8 + 4} = 2.88 \text{ HP}$$

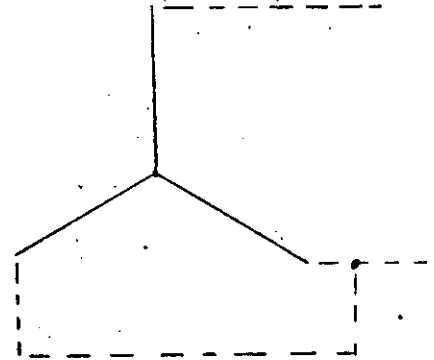
Problema:

Ref. 125 HP, 440 V,  $I_{RB} = 950$  Amps.

$Z_1$  = Impedancia/fase

$r_1$  = Resistencia/fase = .010

¿ Qué voltaje se deberá aplicar como se muestra para producir un calentamiento de 150 watts ?



$$Z_1 = \frac{440}{\sqrt{3} \times 950} = .2674$$

$$Z_{TT} = 1.5Z_1 = 1.5 \times .27 = .401 \Omega$$

$$r_{TT} = 1.5 r_1 = 1.5 \times .010 = .015 \Omega$$

$$I^2 r = \left( \frac{V}{.401} \right)^2 \times .015 = 150$$

$$V = \sqrt{\frac{150}{.015}} \times .401$$

$$V = 40.1$$



Usando el devanado del estator como "Calentador de Espacio"

Ejemplo:

20 HP, . 440 V,  $I_{R.B.} = 150$  Amps.

$Z_1$  = Impedancia/fase

$r_1$  = Resistencia/fase

$$Z_1 = \frac{440}{\sqrt{3} \times 150} = 1.7 \text{ ohms}$$

Suponiendo que  $r_1 = .20$  ohms/fase

Pregunta: qué voltaje (monofásico) producirá 100 watts

$$I^2 r = 100$$

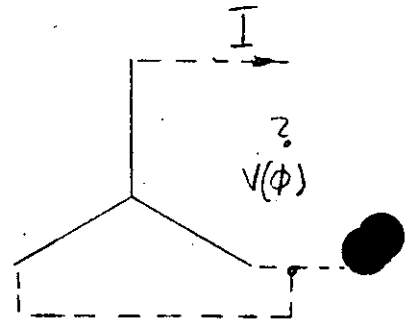
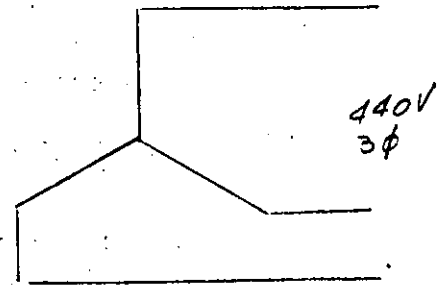
$$Z_{T-T} = Z_1 + \frac{Z_1 \times Z_1}{Z_1 + Z_1} = 1.5Z_1 = 1.5 \times 1.7 = 2.55 \ \Omega$$

$$r_{T-T} = r_1 + \frac{r_1 \times r_1}{r_1 + r_1} = 1.5 r_1 = 1.5 \times .20 = .30 \ \Omega$$

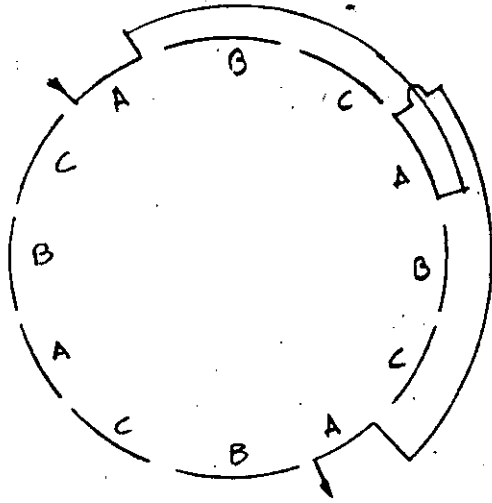
$$I = \frac{V}{Z_{T-T}} = \frac{V}{2.55}$$

$$I^2 r = \left( \frac{V}{2.55} \right)^2 \times .30 = 100$$

$V = 46.5$  aprox. 10% del voltaje del motor



CONEXIONES ENTRE GRUPOS



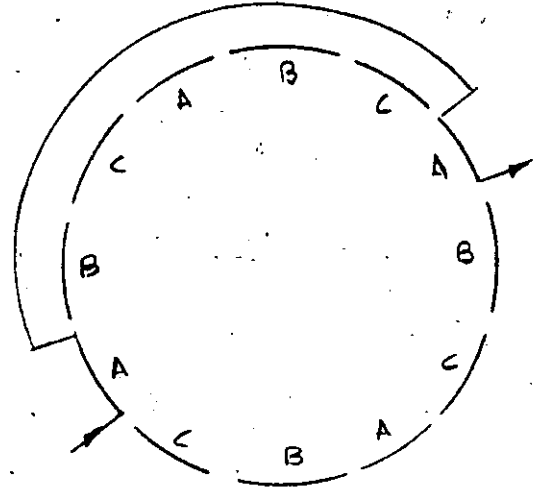
PASO CORTO

1-4

N-5

MENOS CABLE

MAS FACILIDAD



PASO LARGO

1-7

N-N

MEJOR DISEÑO

MENOS RUIDO ETC.

(ACTUALMENTE POCO USADO)

POSIBLE NUMERO DE PARALELOS

Regla # 1  $\frac{\text{Nº Polos}}{\text{Nº Paralelos}} = \text{Entero}$

Regla = 2  $\frac{\text{Nº Ranuras}}{\text{Fases x Nº Paralelos}} = \text{Entero}$

$SPP = \text{Rans/Polo/Fase} = A \frac{x}{y}$

Regla # 3  $\frac{\text{Nº Polos}}{y} = \text{Máx. Nº Paralelos}$

Ejemplo

3 Ø, 10 polos, 48 rans.

$\frac{10}{1, 2, 5, 10} = 10, 5, 2, 1$

$\frac{48}{3 \times (1, 2)} = 16, 8$

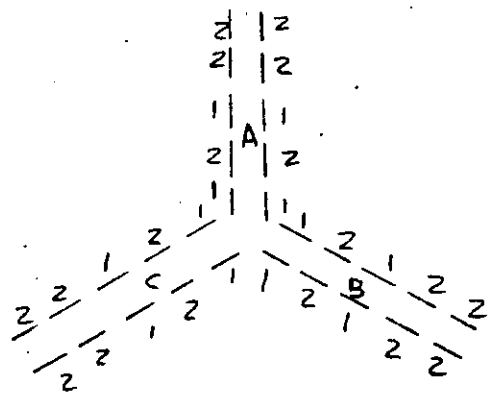
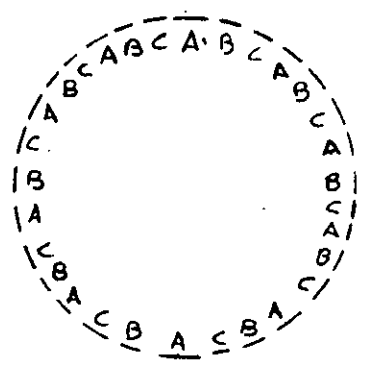
$\frac{48}{3 \times 10} = \frac{8}{5} = 1 \frac{3}{5} y$

$\frac{10}{5} = 2$

Agrupando para  $1 \frac{3}{5} = 1 + (1, 1, 0, 1, 0)$  y repetir

2, 2, 1, 2, 1 y repetir

Ver tabla III para agrupamiento de devanados trifásicos



## Otros ejemplos de grupos fraccionales

1).- 48 Ranuras, 6 polos

$$SPPPP = \frac{48}{3 \times 6} = 2 \frac{2}{3}$$

ML1532c

333232323 y repetir

323233332

233323332 preferible

En algunas ocasiones se anota esta información en el diagrama de conexiones.

2).- 36 Ranuras, 8 polos

$$SPPPP = \frac{36}{3 \times 8} = 1 \frac{1}{2} = D 2, 1 \text{ y repetir}$$

3).- 24 Ranuras, 6 polos

$$SPPPP = \frac{24}{3 \times 6} = 1 \frac{1}{3} = D 2, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 2, 1$$

4).- 24 Ranuras, 10 polos

$$SPPPP = \frac{24}{3 \times 10} = \frac{8}{10}$$

5).- 48 Ranuras, 10 polos

$$SPPPP = \frac{48}{3 \times 10} = 1 \frac{3}{5}$$

2, 2, 1, 2, 1

## CALCULO DEL FACTOR DE ESPACIO Y LA DENSIDAD DE CORRIENTE

Para calcular los calibres de los alambres y el factor de espacio necesitamos conocer el área y algunas dimensiones de la ranura.

El factor de espacio se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$F.E. = \frac{2V (N_1 \times D_1^2 + N_2 \times D_2^2)}{A_R}$$

Donde: V = Número de vueltas por bobina.

N<sub>1</sub> = Número de alambres del calibre mayor.

N<sub>2</sub> = Número de alambres del calibre menor.

D<sub>1</sub><sup>2</sup> = Diámetro máximo aislado al cuadrado del calibre mayor.

D<sub>2</sub><sup>2</sup> = Diámetro máximo aislado del calibre menor.

A<sub>R</sub> = Area desnuda de la ranura.

En la tabla IV se resumen las dimensiones, el peso y la resistencia óhmica de los calibres más usuales en el devanado de motores trifásicos.

Considerando el área que ocuparán los aislamientos dentro de la ranura, el máximo factor de espacio permisible es de 65%.

Pueden usarse dos calibres de alambre tal como se ilustra en la fórmula anterior o bien puede usarse un solo calibre según convenga mejor. En caso de usarse dos calibres diferentes, el calibre mayor deberá ser el inmediato superior que sigue al calibre menor.

La densidad de corriente se calcula con la fórmula:

$$\text{Densidad de Corriente} = \frac{\text{Corriente de Conductor}}{\text{Area de Conductor}}$$

$$\text{Donde: Corriente de Conductor} = \frac{\text{Corriente de Fase}}{\text{Núm. de Paralelos}} ; y$$

$$\text{Corriente de Fase} = \frac{\text{Corriente de Línea}}{3} \quad (\text{Conex. Delta})$$

$$\text{Corriente de Fase} = \frac{\text{Corriente de Línea}}{\sqrt{3}} \quad (\text{Conex. Estrella})$$

FLUJO MAGNETICO

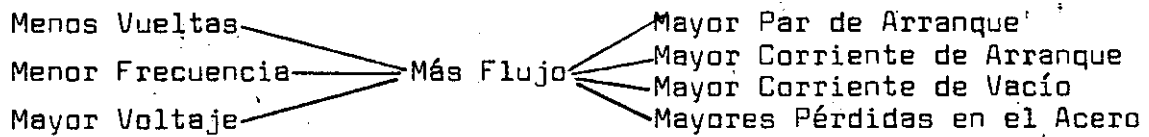
$$\text{Flujo} = \frac{\text{Volts/Fase} \times 10^8}{4.44 \times \text{Vueltas/Fase} \times \text{FC} \times \text{FD} \times f}$$

F.C. = Factor de cuerdeo

F.D. = Factor de distribución

f = Frecuencia

$$\text{Vueltas/Fase} = \frac{\# \text{ Ranuras} \times \text{Vueltas/Bob.}}{3 \times \# \text{ Paralelos}}$$



Factor de Cuerda

$$\text{FC} = \text{Sen} \frac{\# \text{ de Dientes Abarcados por Bobina} \times 90^\circ}{\# \text{ de Ranuras/Polo}}$$

Factor de Distribución = FD ≈ 0.958 (Valor Práctico)

RANS./FASE/POLO	3 FASES POLOS CONSECUTIVOS	2 FASES	3 FASES
1	.866	1.000	1.000
2	.836	.924	.956
3	.831	.911	.960
4	.829	.906	.958
6	.827	.903	.956
INFINITO	.827	.898	.955

Corriente Magnetizante

$$I_m \propto \frac{\text{Volts/Fase} \times \text{Entrehierro} \times (\# \text{ Polos})^2}{(\text{Vueltas/Bob.})^2 \times (\text{FC} \times \text{FD})^2 \times f}$$

TABLA III.- AGRUPAMIENTO DE BOBINAS PARA DEVANADOS TRIFASICOS

Al obtener el número de ranuras por polo y por fase (SPP), encontramos un número entero con o sin una fracción como residuo

o sea  $SPP = A \frac{x}{y}$  donde

$A > 0$  y es número entero.

$0 \leq \frac{x}{y} < 1$

Si hay una fracción, se debe sumar al número entero la secuencia de agrupamiento que nos da la segunda columna

Ejemplo: 126 ranuras, 16 polos, 3 fases  $\rightarrow SPP = \frac{126}{16 \times 3} = 2 \frac{5}{8}$

la columna de 5/8 nos da un agrupamiento 11011010. Sumando el número entero que es dos tendremos el agrupamiento real que en este caso será  $2 + (11011010) = 3,3,2,3,3,2,3,2$  y repetir

Fracción de SPP ( $\frac{x}{y}$ )	AGRUPAMIENTO DE BOBINAS (secuencia de grupos)
1/2	1 0
1/3	1 0 0 0 0 1 0 1 0
2/3	1 0 1 0 1 1 1 1 0 6 0 1 1 1 0 1 1 1 0
1/4	1 0 0 0
3/4	1 1 1 0
1/5	1 0 0 0 0
2/5	1 0 1 0 0
3/5	1 1 0 1 0
4/5	1 1 1 1 0
1/6	1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
5/6	1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0
1/7	1 0 0 0 0 0 0
2/7	1 0 0 1 0 0 0
3/7	1 0 1 0 1 0 0
4/7	1 1 0 1 0 1 0
5/7	1 1 1 0 1 1 0
6/7	1 1 1 1 1 1 0
1/8	1 0 0 0 0 0 0 0
3/8	1 0 1 0 0 1 0 0
5/8	1 1 0 1 1 0 1 0
7/8	1 1 1 1 1 1 1 0
1/9	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
2/9	1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0
4/9	1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0

Para otras fracciones consultar páginas 226-231 del libro "Winding alternating-current machines" de Michael Liwschitz-Garik, publicado por D. Van Nostrand Co.

CALIBRE NOMINAL AWG	DIAMETRO DESNUDO (PLG.)	DIAM. MAX. AISLADO (PLG.)	DIAM. MAX. AISLADO AL CUADRADO	AREA (PLG <sup>2</sup> )	PESO (LBS/1000)	RESISTENCIA A 75°C OHMS/1000)
14	0.064	0.0684	0.00468	0.003225	12.74	3.07
15	0.057	0.0613	0.00375	0.002558	10.11	3.87
16	0.051	0.0548	0.00300	0.002028	8.07	4.88
17	0.045	0.0492	0.00241	0.001609	6.35	6.16
18	0.040	0.0440	0.001936	0.001276	5.04	7.77
19	0.036	0.0395	0.001552	0.001012	4.01	9.79
20	0.032	0.0353	0.001246	0.000800	3.19	12.35
21	0.0285	0.0302	0.001005	0.000636	2.52	15.57
22	0.0254	0.0284	0.000807	0.000505	2.00	19.63
23	0.0226	0.0255	0.000651	0.000400	1.59	24.80
24	0.0201	0.0229	0.000524	0.000317	1.27	31.20
25	0.0179	0.0206	0.000424	0.000252	1.00	39.36
26	0.0159	0.0185	0.000342	0.000200	0.788	49.64
27	0.0142	0.0165	0.000272	0.000158	0.634	62.59
28	0.0126	0.0148	0.000219	0.000126	0.501	78.93
29	0.0113	0.0134	0.000179	0.000100	0.404	99.52
30	0.0100	0.0120	0.000144	0.000079	0.317	125.48

TABLA IV.- CARACTERISTICAS DE ALAMBRES MAGNETO DE COBRE.

83





**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO**

- INTRODUCCION
- DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA
- COORDINACION DE AISLAMIENTO INTERNO Y PRUEBAS DIELECTRICAS DE TRANSFORMADORES
- CONEXIONES DE LOS TRANSFORMADORES
- CARACTERISTICAS DE CORTO CIRCUITO DE TRANSFORMADORES
- SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA
- MANTENIMIENTO, DETECCION Y PROTECCION DE FALLAS EN TRANSFORMADORES

**EXPOSITORES**

ING. JOSE MANUEL DE LA BARRERA  
ING. ARTURO GARCIA GUERRERO

OCTUBRE, 1984.

CURSO SOBRE DISEÑO, MANUFACTURA Y APLICACION  
DE TRANSFORMADORES.

1.- Introducción.

Este curso corto, está intentado para todas aquellas personas que de una u otra manera están involucradas con la Ingeniería y que principalmente tienen conocimientos fundamentales sobre transformadores eléctricos.

La idea fundamental del curso, es involucrar a las personas mencionadas en el diseño de los transformadores, desde su parte inicial que es satisfacer una necesidad que no sólo consiste de aspectos puramente eléctricos como son los parámetros fundamentales del transformador ( voltaje, corriente, potencia, frecuencia), sino también aspectos dimensionales, físicos ó estéticos, así como también involucrarlo con todos aquellos documentos necesarios para el buen entendimiento entre el que necesita el satisfactor y el que lo va a fabricar.

Por principio de cuentas, el transformador se inicia desde el momento en que existe la necesidad de él. Esta necesidad va a fijar por principio los parámetros eléctricos propios de un transformador:

- VOLTAJE
- POTENCIA
- IMPEDANCIA
- No. DE DEVANADOS
- No. DE FASES
- ALTITUD DE OPERACION
- NIVELES DE AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR

Además de estos parámetros que són puramente eléctricos, se presentan otros que serán característicos del diseño de la subestación en donde se instalarán, como son:

- NIVELES DE VOLTAJE, ADEMÁS DEL NOMINAL.
- DIMENSIONES MÁXIMAS
- PESOS MÁXIMOS
- DISTRIBUCIÓN DE BOQUILLAS EN EL TRANSFORMADOR
- ACTIVIDAD SISMICA
- VELOCIDAD DEL VIENTO
- TIPO DE ENFRIAMIENTO
- VOLTAJE DE SERVICIOS AUXILIARES DEL TRANSFORMADOR
- CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
- TEMPERATURAS AMBIENTALES MÁXIMAS Y PROMEDIO
- EN GENERAL POSIBLES ANORMALIDADES A LAS QUE SE PODRÁ VER SUJETO EL TRANSFORMADOR.

Aunque sean parámetros secundarios, no dejan de ser fundamentales para el buen diseño y manufactura del transformador.

El punto de enlace entre el que tiene la necesidad y el que va a fabricar el satisfactor, será una "ESPECIFICACION", la cual podremos definir como "el documento que define en forma clara y objetiva todos los requisitos particulares para el transformador, este define desde las características externas de fabricación hasta la forma en que va a ser operado, incluyendo los accesorios y disposición general de los mismos y será esta, única para transformadores de las mismas características eléctricas y para la misma subestación". Es decir, será la radiografía hablada del transformador.

Por otro lado y como auxiliar general, se tiene otro documento que sirve de respaldo y al cual, se debe sujetar el diseño y -- manufactura de todo transformador, en general, este se denomina como " NORMA ". Este documento es el " determinado por una autoridad legalmente constituida y que se genera por medio de un concenso en el que participan: Usuarios de transformadores, fabricantes de transformadores, fabricantes de equipo relacionado, gobierno, interesados en general, el cual contiene los requisitos mínimos necesarios que debe reunir un transformador tanto para contener el mínimo de calidad como para satisfacer la necesidad elementalmente."

En general, estos dos documentos la " Especificación " y la --- " NORMA ", són las que definen completamente el diseño y la manufactura de los transformadores.

Como aclaración podemos decir que una especificación, puesto que són características particulares, están sujetas a la posibilidad de modificación de acuerdo a los implementos de fabricación que se tengan en el mercado y de acuerdo a las posibilidades de inversión del mismo. Por otro lado, una Norma que fué generada con el concenso tanto de los que fabrican como de los usuarios, una vez aprobada, no está sujeta a modificaciones posteriores " APRIORI " , sino hasta nueva revisión, por esto se debe respetar al pie de la letra.

Una vez que una especificación ha sido establecida por el usuario y aceptada por el fabricante, éste iniciará un diseño, el cual estará restringido por toda serie de parámetros establecidos, en forma conjunta y éste deberá cumplir todos los requerimientos tanto funcionales como dimensionales, los cuales también estarán limitados por:

- CAPACIDAD DE MATERIALES PARA SU APLICACION FISICA.
- CAPACIDAD DE MATERIALES EN OPERACION -- ( MECANICA ELECTRICA )
- TECNICAS ELECTRICAS Y MECANICAS DE DI-- SEÑO ( CALCULO )

El diseño en la generalidad de los casos, parte de una referencia, es decir, un transformador que previamente se ha diseñado manufacturado y probado y que se encuentra en operación preferentemente. Este transformador de referencia, usualmente será de las mismas características que el que se va a diseñar, lo cual sería lo ideal, pero en la generalidad los transformadores varían una o dos características principales, esto es, los transformadores ocupan lugares en los sistemas en los que la impedancia es característica y por esto, todos los transformadores tienen un valor de impedancia en función del punto en el sistema. Esto es suficiente para que el diseño tenga que realizarse completamente, ya que esta impedancia es función de la reactancia de dispersión del transformador, la cual está controlada por todos los espacios entre bobinas que producen tal flujo disperso y en la medida en que estas distancias son más grandes o más pequeñas, el transformador variará tanto sus dimensiones como sus pesos, sin perder de vista que estas distancias también son función de una distribución de voltajes, tanto en frecuencia industrial como de impulso y que existen distancias mínimas de acuerdo a los niveles de aislamiento y que cuando quedan definidas éstas, la impedancia se varía con los parámetros restantes. Vayamos a este caso: Las distancias dieléctricas son mínimas y la impedancia no se obtuvo, entonces si hacemos las bobinas más grandes obtendremos mas flujo disperso, esto nos implica un transformador más grande en dimensiones y en peso por supuesto. Pero surge la pregunta, que tan grande y que tan pesado.

Es responsabilidad del Ingeniero diseñador, obtener el óptimo, cumpliendo con los requerimientos técnicos y sin perder de vista el aspecto comercial que hará que su producto se mantenga en el mercado competitivamente, desde el punto de vista comercial y técnico.

Para esclarecer un poco lo anteriormente visto, es necesario establecer las bases en las que se fundamenta el diseño, las cuales veremos a continuación en forma más técnica.

TEMA # 3 COORDINACION DE AISLAMIENTO INTERNO Y PRUEBAS  
DIELECTRICAS DE TRANSFORMADORES.

6

La selección adecuada del aislamiento de las bobinas es una de las fases más importantes dentro del diseño de transformadores, lo que representa alguno de los problemas más difíciles. Es importante - debido a que la vida del transformador, a largo plazo, depende del aislamiento, ya que las principales causas de falla de un transformador son problemas de aislamiento, más que de cualquier otro tipo.

Los problemas de aislamiento se presentan en el diseño debido a la dificultad de evaluar con precisión los esfuerzos dieléctricos, la naturaleza irregular de los materiales aislantes, la variación de la resistencia dieléctrica resultante del proceso de secado e impregnado, así como envejecimiento y deterioración.

Antes de discutir en detalle el problema de la coordinación de aislamiento interno del transformador, haremos una breve descripción de los diferentes tipos de devanados que se utilizan.

### 3.1 Diferentes tipos de devanados

#### 3.1.1.- Devanados Concéntricos.

En este tipo general de devanados, el devanado de alto voltaje se devana en forma concéntrica sobre el devanado de bajo voltaje, el cual a su vez, está devanado -- sobre la pierna del Núcleo magnético.

3.1.1.1.- Devanado concéntrico rectangular.- Es una bobina devanada en forma mas o menos rectangular, ya que la sección transversal del Núcleo sobre el que se monta es rectangular. Esta es la construcción más económica ya que minimiza el espacio desperdiciado. Su uso está limitado hasta 5000 MVA trifásico y 69000 -- volts.

3.1.1.2.- Devanado concéntrico cilíndrico.- Esta bobina consiste de una o más capas de conductores - aislados devanados sobre un tubo de material aislante. Cada capa consiste de varias vueltas adyacentes unas de las otras.

Esta bobina se utiliza hasta 15000 volts y 400 amperes.

Las principales desventajas de esta bobina son:

- Tendencia de las vueltas a encimarse unas con otras durante corto circuito
- Mala distribución de voltaje al impulso entre las primeras vueltas, debido a la alta capacitancia a tierra y baja capacitancia serie.

Una modificación de esta bobina es la llamada helitran, la cual se usa para bajos voltajes y grandes corrientes (4000 amp).

La vuelta de la bobina helitran está compuesta de uno o varios grupos de conductores en paralelo. Cada grupo se forma de varios conductores rectangulares apilados uno sobre otro.

Esta bobina se devana en forma espiral sobre espaciadores verticales sujetos al tubo de devanado, lo cual forma un ducto entre tubo y bobina para circulación del aceite. Entre cada dos vueltas se colocan espaciadores radiales que sirven de aislamiento y forman también un ducto para circulación del aceite refrigerante.

- 3.1.1.3.- Devanado continuo tipo discos.- Este tipo de bobina se utiliza para voltajes desde 15000 hasta 69000 volts, con corrientes hasta 350 amperes. Las vueltas se devanan sobre espaciadores verticales sujetos al tubo de devanado, formando secciones o discos, esto es, la primera vuelta se devana sobre los espaciadores del tubo, y después se devana un cierto número de vueltas sobre ésta, formando un disco cuyo ancho es igual al ancho del conductor aislado. La vuelta exterior del disco se conecta con la vuelta exterior del disco adyacente, en el que la continuidad de vueltas irá del exterior hacia el interior del disco, y así sucesivamente hasta terminar la bobina.



La bobina completa consta entonces de muchos - discos o secciones devanadas en forma continua, con espaciadores radiales que separan los discos adyacentes.

3.1.1.4.- Devanado intercalado tipo disco.- Su construcción, dimensiones y apariencia visual son iguales a la del devanado continuo, con la diferencia que las vueltas no se devanan en forma continua, sino que existe un intercalamiento de -- vueltas eléctricas entre cada dos vueltas físicamente adyacentes, características que incrementa notablemente la capacitancia serie de la bobina, que como veremos más adelante es de gran importancia para atenuar el esfuerzo dieléctrico.

### 3.1.2.- Devanado tipo Galleta

Estos devanados difieren básicamente de los concéntricos - en que tanto el primario como el secundario se devanan en forma de grandes "galletas", las cuales se colocan alternamente. Estas bobinas también se devanan con cinta rectangular de cobre aislado con papel, pero la última capa lleva un adhesivo termoplástico, el cual, después del proceso de secado y horneado se derrite y sujeta firmemente las -- vueltas para formar una bobina mecánicamente fuerte.

Estas bobinas se utilizan en la construcción de transformadores tipo "Shell" o acorazados.

Entre las principales ventajas de estos devanados tenemos:

- 1.- Una alta capacitancia serie a través del devanado.
- 2.- Relativa facilidad para hacer arreglos especiales de devanado y conexiones.
- 3.- Facilidad para controlar y variar reactancia según --- arreglo de bobinas.
- 4.- Adaptabilidad natural para la circulación del aceite - de enfriamiento.

### 3.2 Distribución de Voltajes dentro del Devanado

②

Desde el punto de vista de aislamiento, el criterio para lograr un buen diseño es que el transformador debe soportar todos los esfuerzos dieléctricos que se producen en operación normal, bajo condiciones reales de servicio. Estos esfuerzos pueden ser de cuatro tipos: voltaje continuo, sobrevoltajes por fallas asimétricas, sobrevoltajes por maniobras y sobrevoltajes por descargas atmosféricas.

#### 3.2.1.- Esfuerzos de voltaje en servicio.

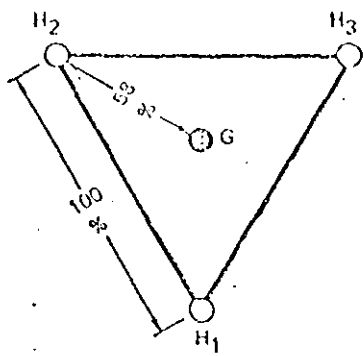
El voltaje a que se somete un transformador en forma continua determina el diseño del aislamiento desde el punto de vista térmico, siendo además perfectamente conocido el esfuerzo dieléctrico que se presenta en el devanado.

La mayoría de los sobrevoltajes de tiempo prolongado se deben a requerimientos de regulación, y generalmente son de un valor bajo, del orden del 10 al 20%.

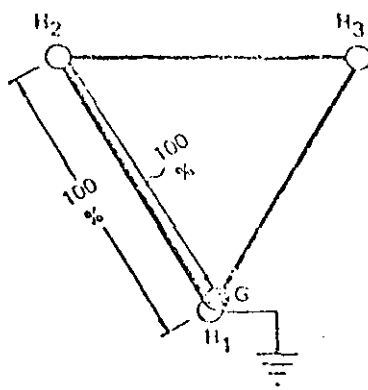
Bajo condiciones de falla monofásica, los aislamientos de las fases no falladas alcanzan valores más altos de lo normal en 30% ó 73% dependiendo de si el sistema es aterrizado o aislado. Estos sobrevoltajes son transitorios pero deben ser tomados en cuenta para diseño y pruebas. VER FIG. 3-1

Las maniobras debidas a cambios repentinos de carga a menudo causan oscilaciones en el sistema, las cuales, combinadas con ondas reflejas pueden resultar como ondas de larga duración (varios cientos de microsegundos). Las pruebas realizadas han demostrado que la magnitud de dichas ondas rara vez alcanzan cuatro veces el valor normal del voltaje a tierra, por lo que se piensa que el valor máximo que pudiera presentar sería seis veces dicho valor.

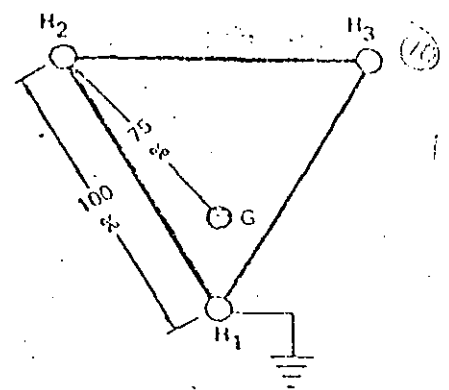
Los sobrevoltajes debidos a descargas atmosféricas que se producen cerca del transformador, o por ondas viajeras a lo largo de la línea, tienen una duración relativamente



A - NORMAL



B - 1φ FAULT ON UNGROUNDED SYSTEM



C - 1φ FAULT ON EFFECTIVELY GROUNDED SYSTEM

NOTE: "G" REFERS TO THE GROUND VOLTAGE AT THE TRANSFORMER, RELATIVE TO THE LINE TERMINAL VOLTAGES. THIS DETERMINES THE VOLTAGE IMPOSED ON THE TRANSFORMER INSULATION.

VOLTAGE RELATIONS ON DELTA WINDING

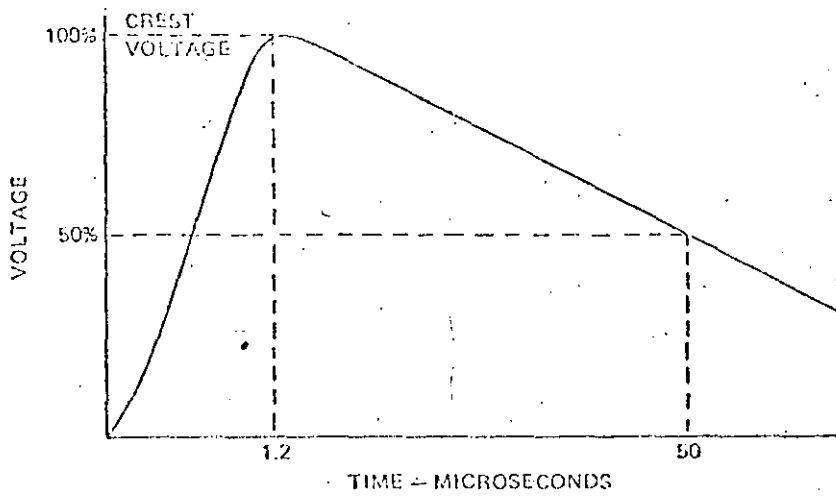


FIGURE 1 - STANDARD LIGHTNING IMPULSE FULL WAVE

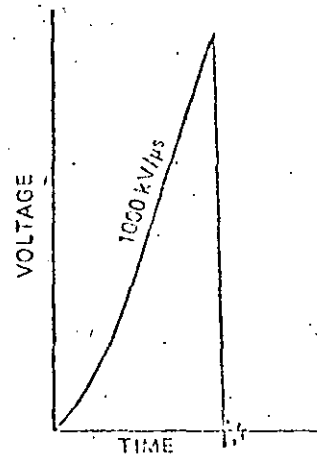


FIGURE 2 - STANDARD LIGHTNING IMPULSE FRONT-OF-WAVE

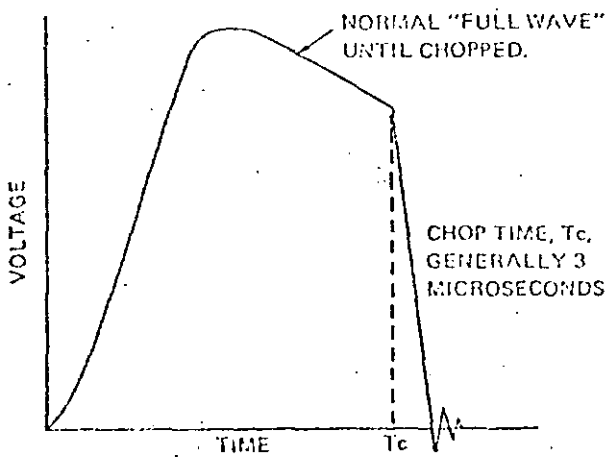


FIGURE 3 - STANDARD LIGHTNING IMPULSE CHOPPED WAVE

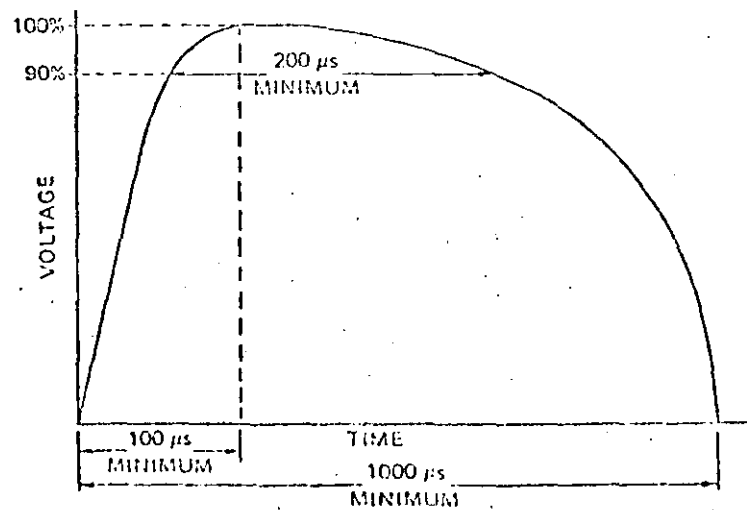


FIGURE 4 - STANDARD SWITCHING IMPULSE WAVE

(11)

corta (usualmente menos de 100 microseg.), pero pueden ser altos en magnitud. Estos sobrevoltajes son a menudo limitados por la resistencia de aislamiento de la línea o por el equipo de protección.

Los sobrevoltajes por descargas atmosféricas son sin duda los más peligrosos para el aislamiento del transformador, y por lo mismo, determinan el nivel de aislamiento del diseño. Estos sobrevoltajes pueden aparecer como un frente de onda (como sería el caso de una descarga directa), como una onda cortada (como sería el caso de una onda viajera que descarga a través de un aislador de la línea) o como una onda completa que llega al transformador. VER FIGS. 3.1 y 3.2

Debido a que la distribución inicial de voltaje en un devanado no es uniforme, pueden aparecer sobrevoltajes excesivamente altos entre partes distintas de un devanado.

El predeterminar la magnitud del esfuerzo, dieléctrico ocasionado por dichos transitorios de voltaje representa el mayor problema en el diseño de aislamiento de transformadores.

### 3.2.2.- Distribución Inicial de Voltaje al Impulso.

El impulso o la distribución transitoria de voltaje en un devanado puede estudiarse considerando primero la distribución electrostática o inicial del voltaje, la cual depende de la capacitancia relativa que exista entre los elementos del devanado, en comparación con la capacitancia entre los mismos elementos y tierra.

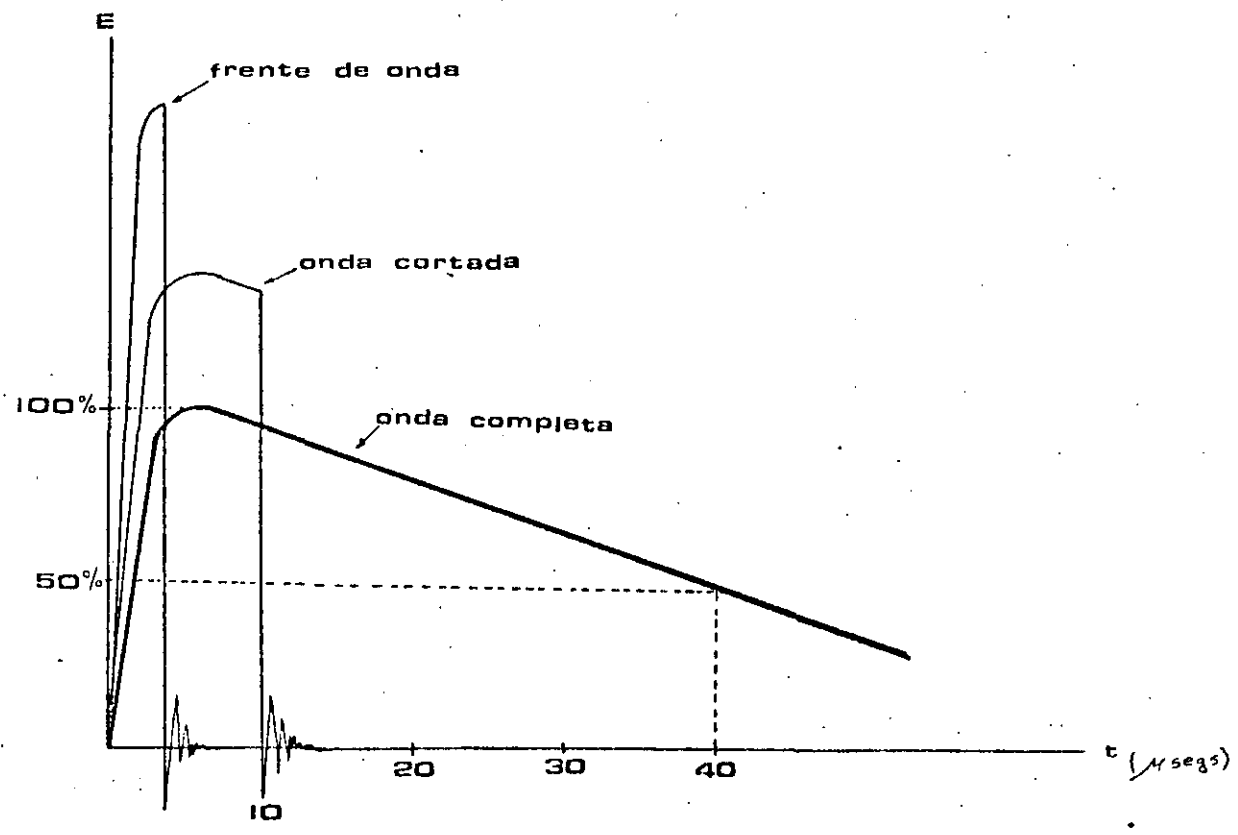
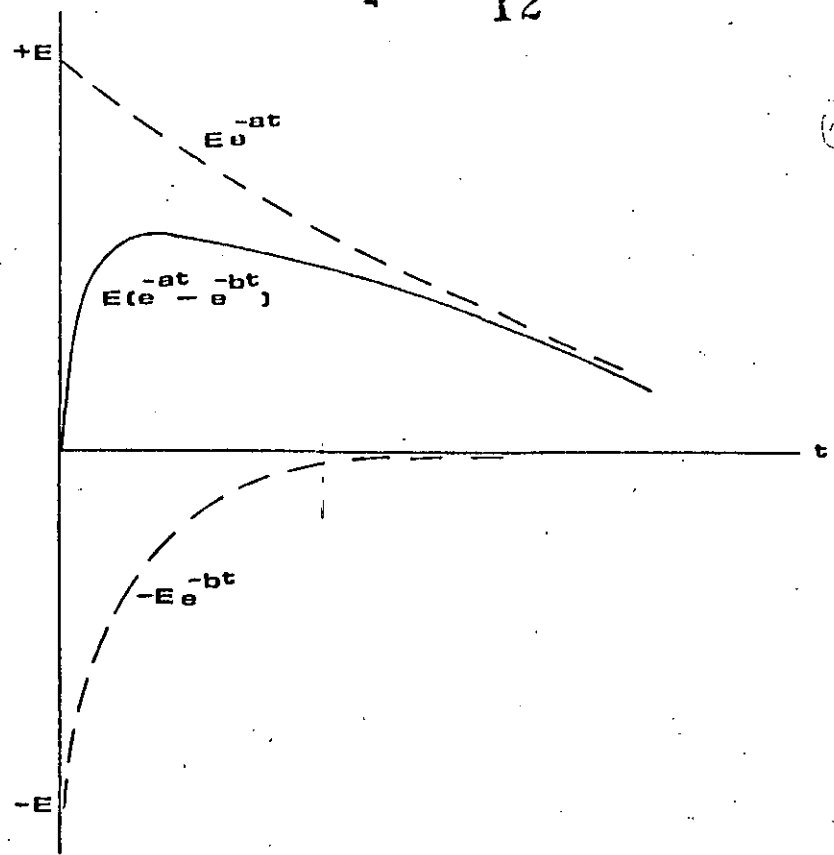


FIG. 3.2

Un devanado de transformador puede representarse como se muestra en la figura 3.3. Debido a que la inductancia del devanado no afecta la distribución electrostática o inicial, el circuito de la fig. 3.3 puede simplificarse como se indica en la fig. 3.4.

Asumiendo que las capacitancias serie y a tierra son iguales, la distribución de corriente durante el tiempo de carga en el instante en que la onda de voltaje entra al devanado, estará dada por los números de la fig. 3.4. La distribución resultante del voltaje a tierra está dada por los números de la fig. 3.5.

El voltaje inicial a tierra puede graficarse como se indica en la fig. 3.6 (curva 'A'). Puede verse que la corriente requerida por los elementos de capacitancia a tierra causa una gran caída de voltaje a través de los elementos en serie del devanado, es decir, la capacitancia a tierra es la que "jala" la curva 'A' hacia abajo, ocasionando una alta concentración de voltaje en el extremo del devanado que recibe el impulso.

Si no existiera la capacitancia a tierra, la distribución de voltaje sería uniforme, como se muestra en la fig. 3.6; línea 'B'.

Para hacer un análisis básico de la distribución de voltaje en el devanado, nos referimos a la fig. 3.7, para la que definimos las siguientes magnitudes:

- $x$  = distancia de un punto interior P al extremo A
- $\Delta x$  = distancia axial ocupada por un elemento del devanado
- $L$  = longitud axial del devanado
- $N$  = número total de secciones o discos en el devanado
- $V$  = voltaje a tierra en el punto P
- $\Delta V$  = voltaje a través del elemento en el punto P
- $v=2\Delta V$  = voltaje máximo a través del ducto en P

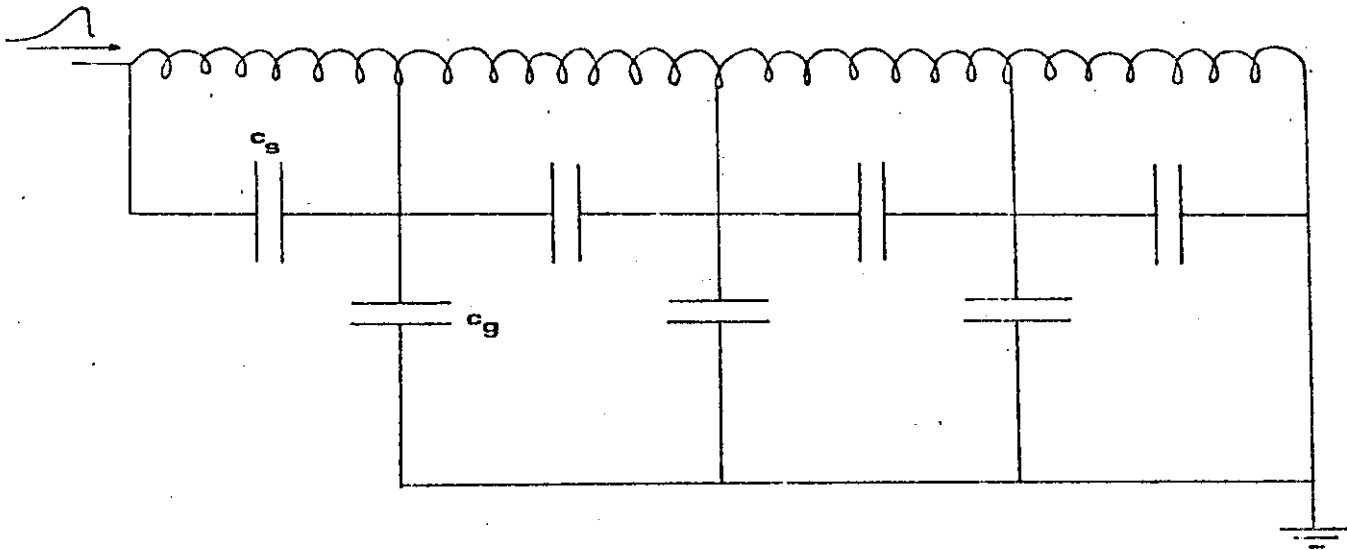
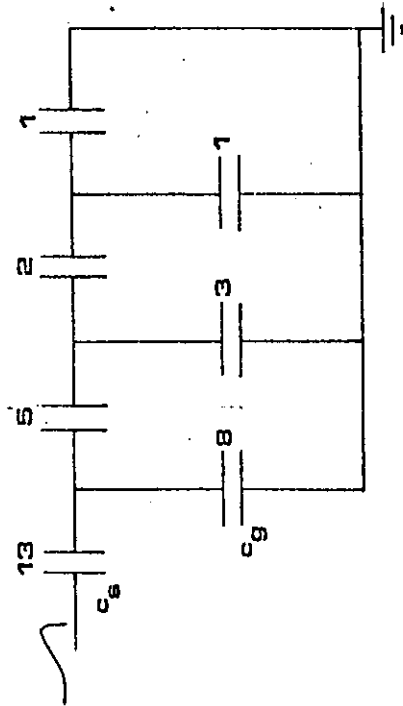


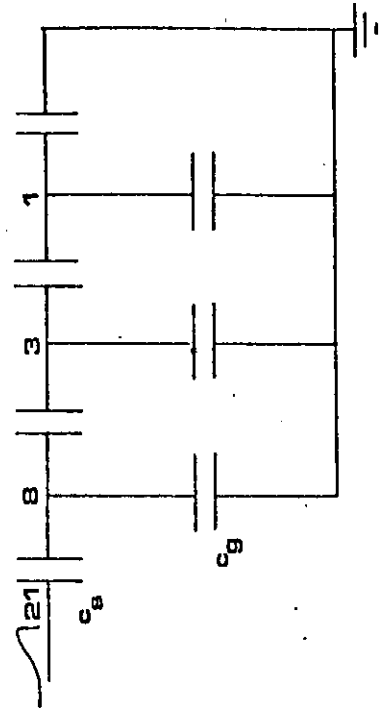
Fig. 3.3 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN DEVANADO

FIG. 3.3



DISTRIBUCION de CORRIENTE

FIG. 3.4



DISTRIBUCION de VOLTAJE

FIG. 3.5

(15)

(15)



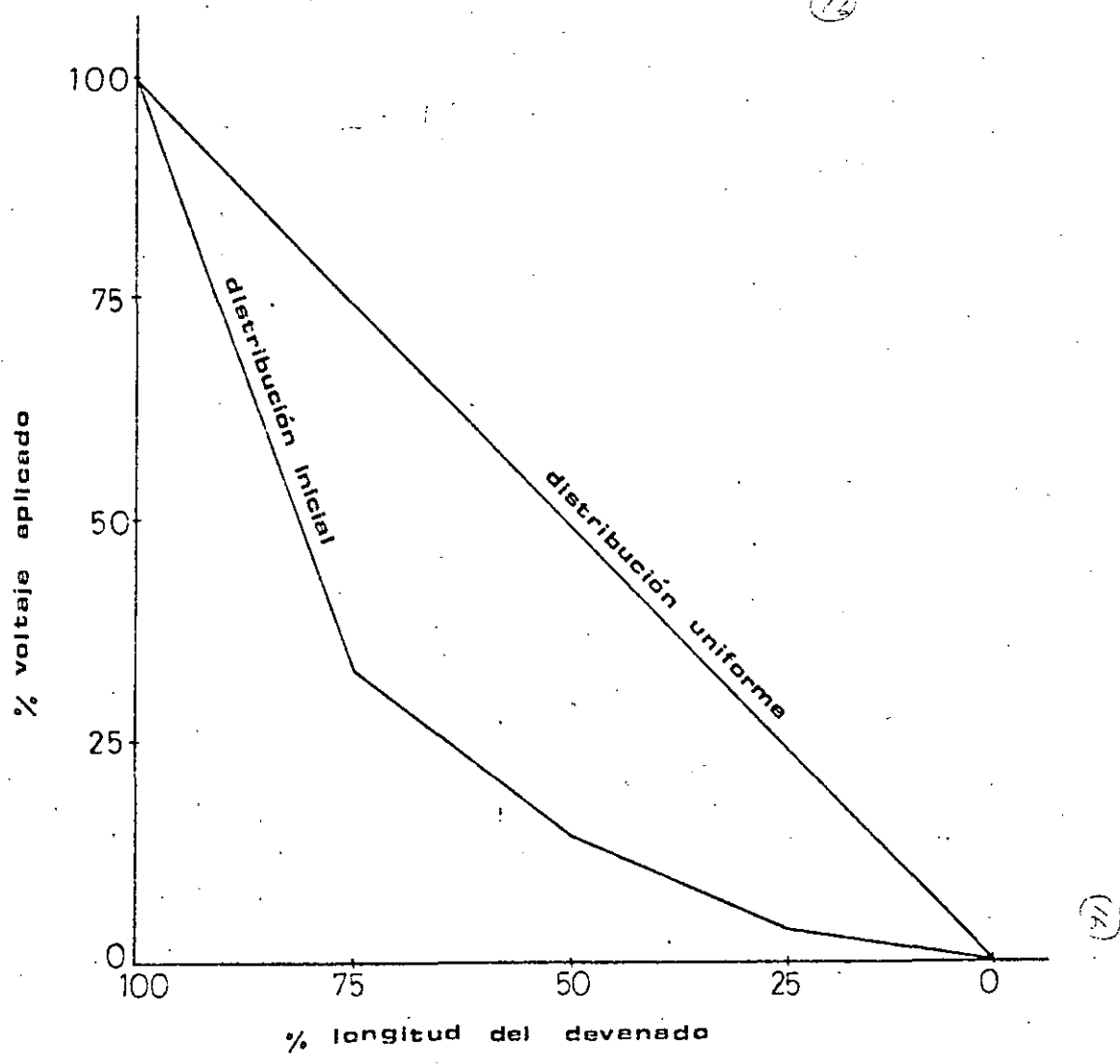


FIG. 3.6

(17)

- $V_1, v_1$  = valores de  $V$  y  $c$  en el extremo A  
 $I_g$  = corriente de tierra en el punto P  
 $i$  = corriente del devanado en el punto P  
 $c_g$  = capacitancia entre la unión de dos elementos y tierra  
 $c_s$  = capacitancia serie de cada elemento del devanado  
 $C_g = N c_g$  = capacitancia a tierra total del devanado  
 $C_s = c_s / N$  = capacitancia serie total del devanado  
 $t$  = tiempo

De acuerdo con la primera ley de Kirchhoff, la suma de todas las corrientes en el punto P debe ser cero, es decir

$$i(x) = I_g + i(x + \Delta x)$$

$$\text{ó } I_g = i(x) - i(x + \Delta x)$$

donde  $I_g$  e  $i$  pueden expresarse por los voltajes a tierra y entre ductos, respectivamente:

$$I_g = c_g \frac{dV}{dt} ; \quad i = \frac{1}{2} c_s \frac{dv}{dt}$$

debido a que  $\Delta x = L/N$ , tenemos:

$$\left. \begin{aligned} \frac{i(x) - i(x + \Delta x)}{\Delta x} &= \frac{N}{L} c_g \frac{dV}{dt} \\ i &= \frac{-L}{N} c_s \frac{d(\Delta V / \Delta x)}{dt} \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

si la red de capacitancias de la fig. \_\_\_\_\_, se divide en pasos diferenciales, de modo que pueda considerarse como continua, las ecuaciones anteriores (1) pueden escribirse como:

$$\frac{di}{dx} = \frac{-N}{L} c_g \frac{dV}{dt} ; \quad i = \frac{-L}{N} c_s \frac{d(dV/dx)}{dt} \text{----- (2)}$$

teniendo en cuenta que  $\frac{di}{dx} = \frac{-L c_s}{N} \frac{d(d^2 V/dx^2)}{dt}$

podemos combinar las dos ecuaciones anteriores

$$\frac{-N}{L} c_g \frac{dV}{dt} = \frac{-L c_s}{N} \frac{d(d^2 V/dx^2)}{dt}$$

o lo que es lo mismo

$$c_g V = (L/N)^2 c_s \frac{d^2 V}{dx^2}$$

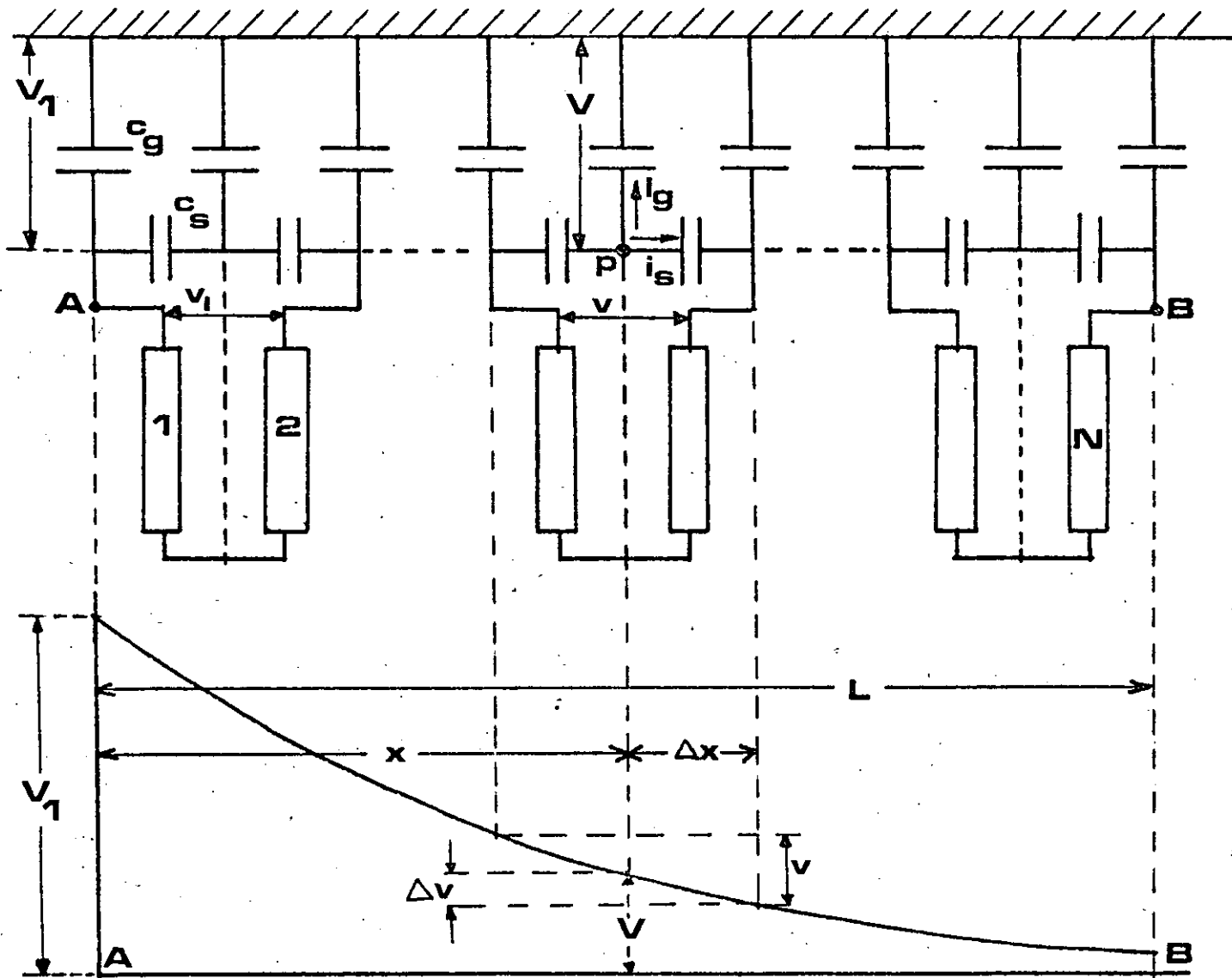


FIG. 3.7. Función de voltaje en una distribución inicial

(31)

al introducir los valores totales de capacitancia  $C_g$  y  $C_s$  podemos escribir

$$V = \frac{C_s}{C_g} \frac{d^2 V}{d(x/L)^2} \quad \text{----- (3)}$$

Las soluciones de esta ecuación diferencial son las funciones exponenciales

$$e^{\alpha(x/L)} \quad \text{y} \quad e^{-\alpha(x/L)}$$

para las cuales pueden sustituirse las funciones hiperbólicas

$$\sinh \alpha(x/L) = \frac{e^{\alpha(x/L)} - e^{-\alpha(x/L)}}{2}$$

$$\cosh \alpha(x/L) = \frac{e^{\alpha(x/L)} + e^{-\alpha(x/L)}}{2}$$

por lo que la solución de la ecuación diferencial (3) puede escribirse en forma general como

$$V = A \sinh \alpha(x/L) + B \cosh \alpha(x/L) \quad \text{----- (4)}$$

donde A, B, y  $\alpha$  son constantes a determinar. Para obtener  $\alpha$  puede sustituirse la ecuación (4) en la (3) y se encuentra

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_g}{C_s}} \quad \text{----- (5)}$$

La constante  $\alpha$  es una cantidad importante ya que es un indicador de la acumulación y magnitud del esfuerzo dieléctrico de un devanado, y por lo tanto, una medida de la calidad del diseño. Las constantes A y B deben ser determinadas según las condiciones de frontera, en las que un voltaje  $V_1$  se aplica en el extremo 'A' del devanado (ver fig. 3.7) mientras que el otro extremo se aterriza o se deja abierto, esto es:

(para 'B' aterrizado).

$$V_{(x=0)} = V_1 \quad ; \quad V_{(x=L)} = 0 \quad \text{----- (6)}$$

De las condiciones de frontera (6), la ecuación (4) proporciona los siguientes valores.

$$V_1 = B ; A \sinh \alpha + B \cosh \alpha = 0$$

con lo que  $A = -V_1 \frac{\cosh \alpha}{\sinh \alpha}$

tomando entonces la ecuación (4) la siguiente forma

$$V = \frac{V_1}{1} \left[ \frac{\sinh \alpha \cosh \alpha (x/L) - \cosh \alpha \sinh \alpha (x/L)}{\sinh \alpha} \right]$$

$$\delta \quad V = V_1 \frac{\sinh \alpha (1-x/L)}{\sinh \alpha} \quad \text{----- (7)}$$

Para 'B' abierto se tienen las siguientes condiciones de frontera:

$$V(x=0) = V_1 ; \quad i(x=L) = 0 \quad \delta \quad \frac{dv}{dx} (x=L) = 0 \quad \text{----- (8)}$$

De las condiciones de frontera (8), la ecuación (4) proporciona los siguientes valores

$$V_1 = B ; \quad A \cosh \alpha + B \sinh \alpha = 0$$

$$\delta \quad A = -V_1 \frac{\sinh \alpha}{\cosh \alpha}$$

tomando entonces la ecuación (4) la siguiente forma

$$V = V_1 \frac{\cosh \alpha \cosh (\alpha x/L) - \sinh \alpha \sinh (\alpha x/L)}{\cosh \alpha}$$

$$\delta \quad V = V_1 \frac{\cosh \alpha (1-x/L)}{\cosh \alpha} \quad \text{----- (9)}$$

con las ecuaciones (7) y (9) se pueden derivar expresiones para el valor del esfuerzo dieléctrico entre discos. Consecuentemente, el esfuerzo dieléctrico entre ductos "v", está determinado esencialmente por la pendiente  $dV/dx$  de los voltajes  $V$  a tierra.

# VOLTAJES MAXIMOS DE OSCILACION

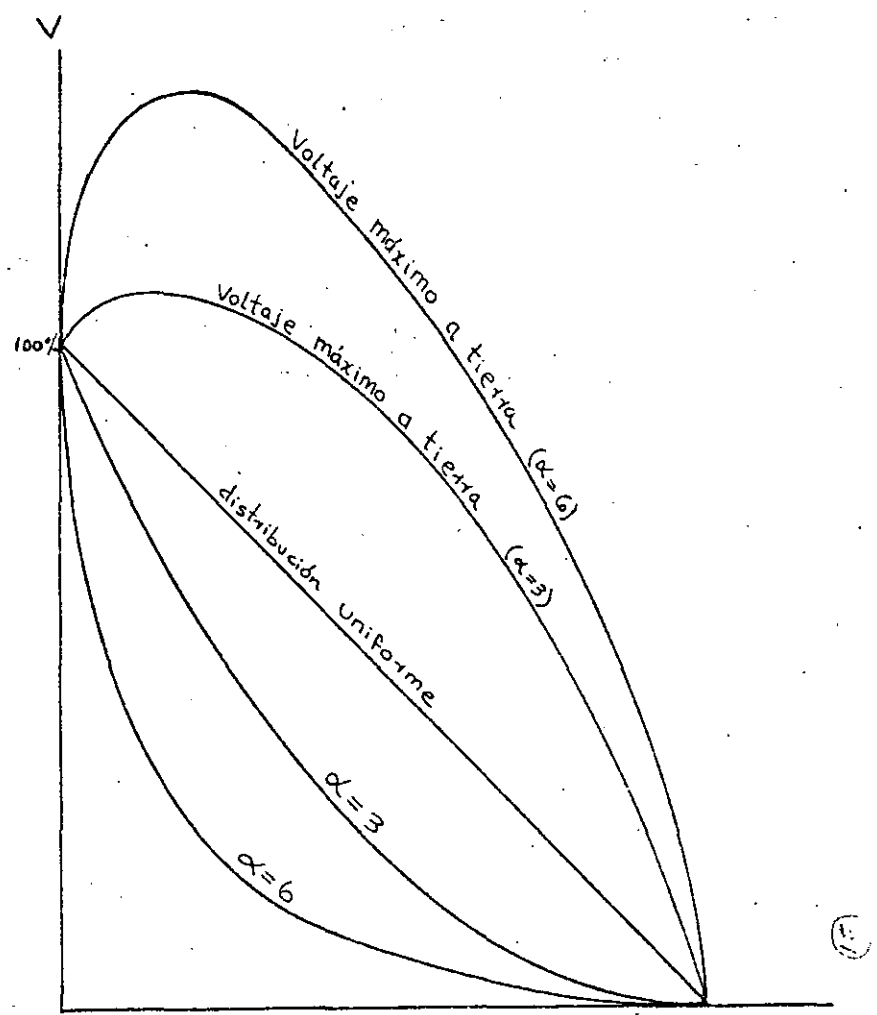


FIG. 3.8

# DISTRIBUCIONES INICIAL Y FINAL TÍPICAS & FORMAS DE OSCILACION

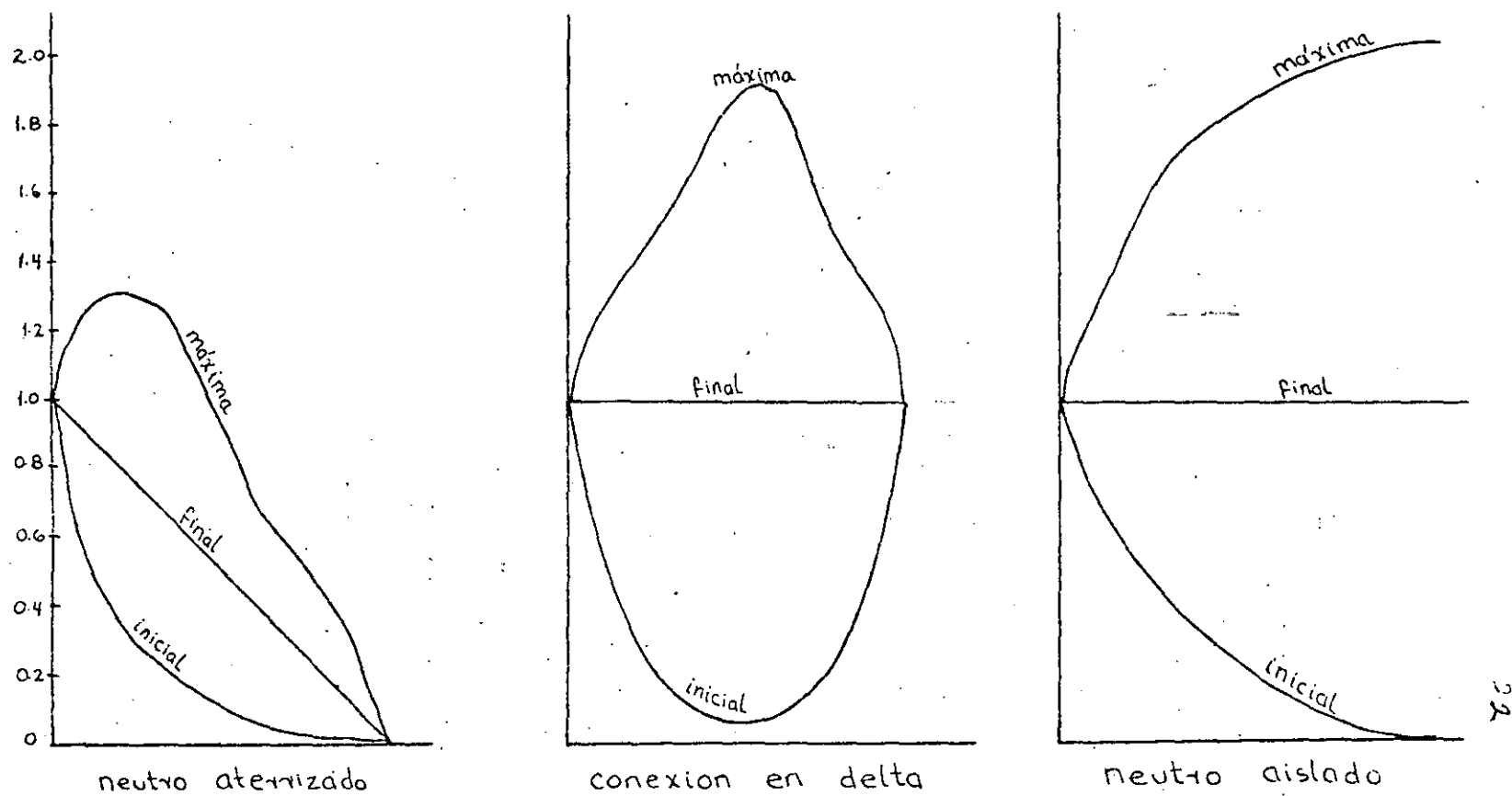


Fig. 3.9

De acuerdo con las propiedades de las funciones hiperbólicas, las ecuaciones (7) y (9) tienen su máximo en el extremo 'A' de la fig. 3.7. Por otra parte, como se ha mencionado, la concentración del esfuerzo dieléctrico depende en gran parte de la constante  $\alpha = \sqrt{C_g / C_s}$ , es decir, aumenta con la capacitancia a tierra y decrece con la capacitancia serie. Debido a la conveniencia de obtener un diseño con una capacitancia serie alta, se han desarrollado técnicas para elevar este valor de capacitancia en los devanados concéntricos. Las dos principales técnicas para este fin son el uso de superficies metálicas conectadas eléctricamente en el extremo del devanado, y que actúan como placa estática; y el intercalamiento de vueltas eléctricas dentro del devanado.

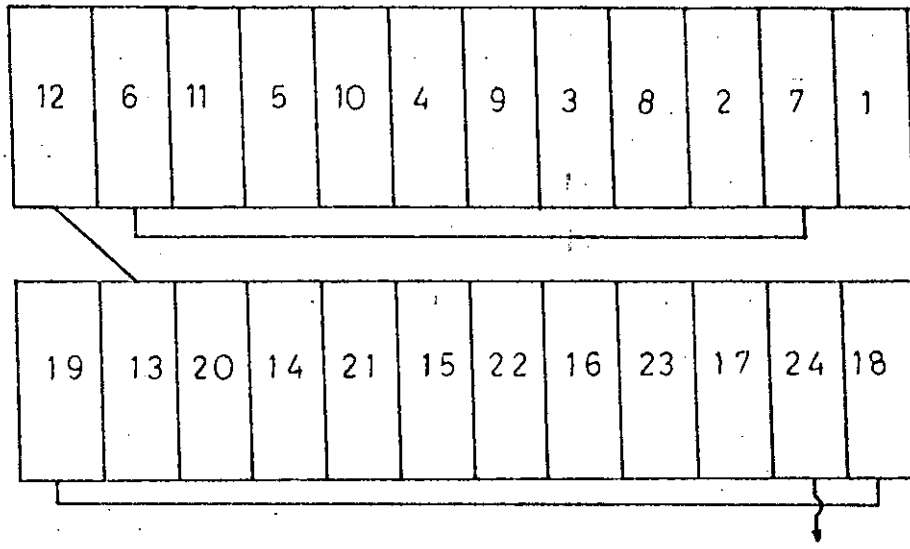
Como se ha mencionado, el efecto de la placa estática para aumentar la capacitancia serie está limitado a los extremos del devanado, en cambio, el intercalado de vueltas eléctricas modifica el campo eléctrico entre vueltas a lo largo de todo el devanado, ver fig. 3.10.

Para entender el efecto del intercalado de vueltas en la capacitancia serie, debe recordarse que ésta es una medida de la energía suministrada a los discos interiores del devanado. Esta energía aumenta proporcionalmente al cuadrado de los voltajes que aparecen entre discos y entre vueltas, para un valor dado de voltaje aplicado, por lo que es posible aumentar la capacitancia serie si los voltajes interiores (entre vueltas) aumentan sin incrementar el voltaje aplicado al devanado, condición que puede lograrse intercalando vueltas eléctricas sin cambiar el voltaje total a través de cada disco.

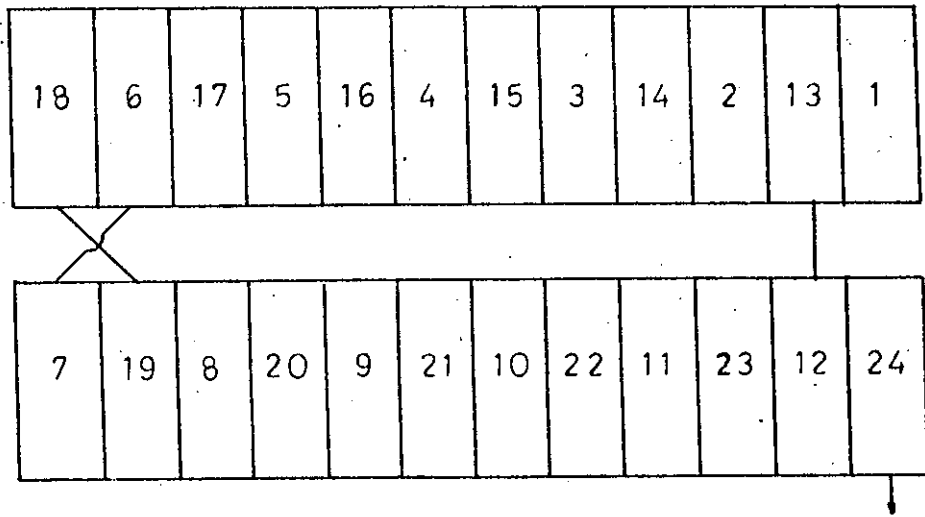
El voltaje que aparece entre vueltas de devanados tipo discos durante una prueba de impulso es bastante inferior al valor que el aislamiento entre vueltas puede soportar con seguridad. El exceso de energía almacenada en el espacio dieléctrico entre vueltas puede, por lo tanto ser utilizada para incrementar la capacitancia serie, lo que a la vez reduce el esfuerzo dieléctrico a través del ducto entre discos. El incremento de voltaje que se logra intercalando vueltas eléctricas hace posible incrementar



24



un grupo por disco



un grupo en dos discos

**INTERCALAMIENTO DE VUELTAS ELECTRICAS**

FIG. 3.10

la capacitancia serie de un devanado tipo discos continuo hasta veinticinco veces o más.

### 3.2.3.- Voltajes de Prueba.

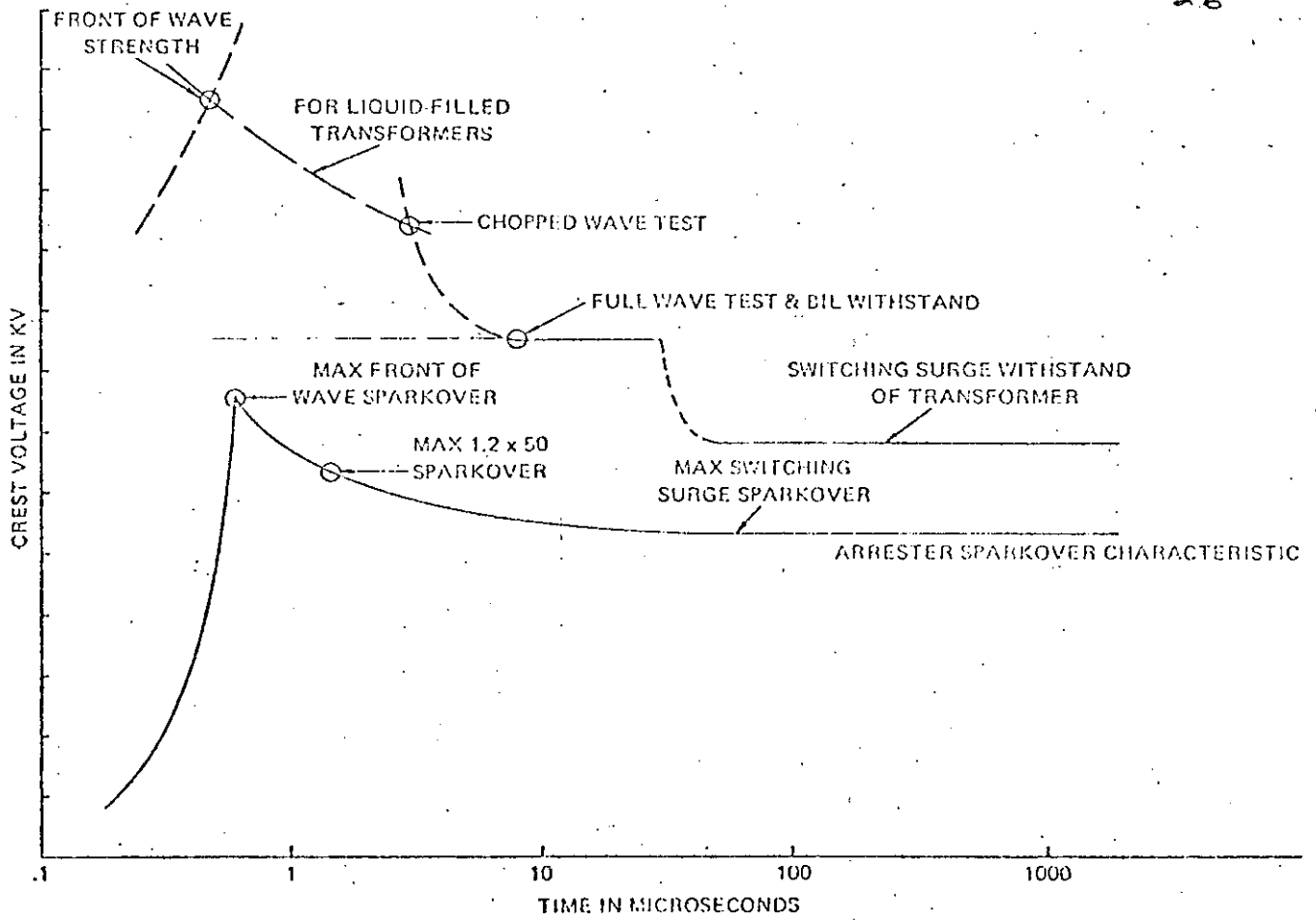
La coordinación de aislamiento interno del transformador involucra especificar pruebas dieléctricas, las cuales están por arriba (dentro de un cierto margen) de los voltajes esperados en servicio.

Los niveles de aislamiento se escogen de la norma ANSI C57.12.00 usando los procedimientos y margenes señalados en la norma ANSI C62.2.

La coordinación resultante puede ser ilustrada como se indica en la fig. 3.11.

Los niveles de aislamiento están condensados en la siguiente tabla:

CLASE DE AISLAMIENTO (KV)	BIL (KV CRESTA)	PRUEBA DE BAJA FRECUENCIA (KV rms)	ONDA CORTADA (KV CRESTA)	FRENTE DE ONDA (KV CRESTA)	SWITCHING SURGE (maniobras) (KV CRESTA)
15	110	34	130	195	75
25	150	50	175	260	100
34.5	200	70	230	345	140
46	250	95	290	435	190
69	350	140	400	580	280
115	550	230	630	825	460
138	650	275	750	960	540
161	750	325	865	1070	620
230	1050	460	1210	1400	870
400	1800	800	2070	----	1500



TRANSFORMER INSULATION COORDINATION

FIG. 3-11

### 3.3. Estructuras Aislantes

27

La resistencia dieléctrica de los materiales aislantes usados en los transformadores es diferente en pruebas de laboratorio, donde se someten a un conocido y uniforme esfuerzo dieléctrico. Dentro del transformador energizado existen muy variadas configuraciones de campo eléctrico, algunas de las cuales pueden causar concentraciones locales de esfuerzo dieléctrico en un material aislante, y finalmente, causar la ruptura dieléctrica del mismo, es decir, las concentraciones locales de esfuerzo dieléctrico son las que causan la ruptura, en lugar de las concentraciones uniformes.

Al aplicar voltaje entre dos electrodos, se forma un campo eléctrico entre ellos, con líneas de fuerza y planos de superficies equipotenciales. El esfuerzo dieléctrico en cualquier punto dependerá de que tan espaciadas se encuentran las líneas equipotenciales en esa área. El problema del diseño de aislamientos es cuidar que no existan concentraciones de líneas en ninguna parte, por pequeña que esta sea, ya que hablando de aislamientos, la cadena no es más fuerte que su eslabón más débil.

Un punto definitivo para el diseño de aislamientos es la forma y tamaño de los electrodos (parte viva y tierra), entre más grandes y de forma redonda sean, las concentraciones de campo eléctrico serán menores, de aquí la importancia de evitar cualquier tipo de filos o puntas en el tanque (tierra) del transformador.

#### 3.3.1.- Ruptura de aislamiento. Descargas Parciales (conora)

Las descargas parciales se producen cuando el voltaje alcanza un valor tal que su campo eléctrico puede acelerar electrones o iones libres que se encuentren en el fluido a una velocidad tan alta que se empiezan a formar iones adicionales por colisión con las moléculas del fluido, esto forma un camino de electrones que, en efecto, es una extensión del electrodo. Este "camino" de electrodos tiende a extenderse hacia el otro electrodo y conduce corriente como un arco. Ya que la intensidad

28 de campo disminuye a medida que el "camino" se aleja del electrodo, muchas veces no se completa el arco hasta el otro electrodo extinguiéndose a medio camino. Como su nombre lo indica, las descargas parciales son una ruptura parcial del aislamiento del transformador, y son indeseables ya que producen progresiva deterioración del aislamiento hasta llegar eventualmente a la falla. Otro efecto indeseable es la formación de gas, el cual también puede ocasionar una falla.

3.4.- Materiales para Aislamiento.

3.4.1.-Papel y cartón precomprimido.- El papel es una parte fundamental del aislamiento de los transformadores modernos, ya que tiene excelente resistencia dieléctrica y bajas pérdidas dieléctricas cuando está seco, sin embargo, absorbe humedad con mucha facilidad, por lo que debe ser secado e impregnado con aceite, el cual llena los espacios entre fibras y aumenta su rigidez dieléctrica. La humedad en el papel y en el cartón aislante aumenta las pérdidas dieléctricas y disminuye la resistencia dieléctrica, lo cual ocasiona la falla del aislamiento.

3.4.2.-Aceite.- El aceite es también una parte fundamental de los aislamientos del transformador. El universalmente usado principalmente debido a su bajo costo comparado con el de otros líquidos aislantes sintéticos, y además por su peculiar ventaja de impregnar el papel. Aunque es un producto altamente refinado, no es químicamente puro, algunas de sus impurezas son benéficas pues retardan su oxidación, pero otras como el oxígeno y el agua pueden ser causa de serios problemas.

3.5.- Pruebas Dieléctricas de los Transformadores

3.5.1.-Resistencias de Aislamiento.- Esta prueba se realiza para verificar que la humedad de los aislamientos fue removida durante el proceso de secado, y se efectúa antes de someter el aparato a las pruebas dieléctricas destructivas. Estas pruebas se efectúan con un megger, y miden la resistencia del aislamiento entre devanados y tierra y de

Junto con esta prueba también se mide el factor de potencia del aislamiento, que también es una medida de que tan secos están los aislamientos.

3.5.2.-Potencial Aplicado.- Esta prueba consiste en aplicar voltaje según la clase de aislamiento (ver tabla del inciso 3.2.3.) a cada devanado, estando todos los demás devanados conectados a tierra. Esta prueba se realiza a baja frecuencia (60 Hz) y durante un minuto.

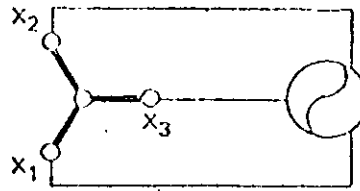
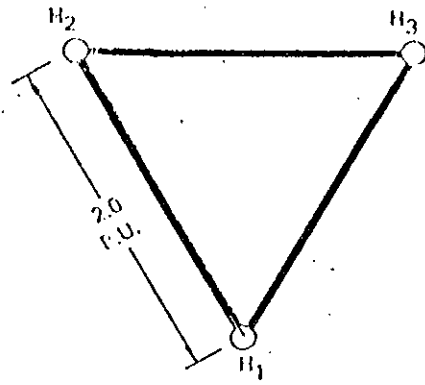
3.5.3.-Potencial Inducido.- Esta prueba consiste en inducir en el transformador el doble del voltaje para el que está diseñado durante un minuto. Con esta prueba se demuestra que el aislamiento entre vueltas de los devanados es adecuado.

3.5.4.-Pruebas de Impulso.- Estas pruebas demuestran la resistencia de aislamiento del transformador contra las descargas atmosféricas que dejan pasar los apartarrayos.

Las pruebas de impulso se realizan de acuerdo al nivel básico de aislamiento al impulso (BIL) según la clase de voltaje del transformador (ver tabla inciso 3.2.3.).

Una prueba de impulso está constituida por las siguientes ondas de voltaje aplicadas en el devanado:

- 1.- Una onda de voltaje reducido para establecer la forma de onda
- 2.- Una onda cortada, la cual es 15% mayor en cresta que la onda completa y es cortada en 3 microsegundos.
- 3.- Un impulso de onda completa, la cual alcanza su máximo valor en 1.5 microseg., y decae a la mitad de este valor en 40 microsegundos.



B - APPLIED TEST

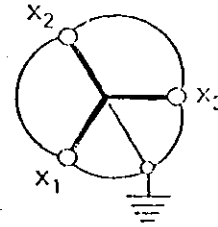
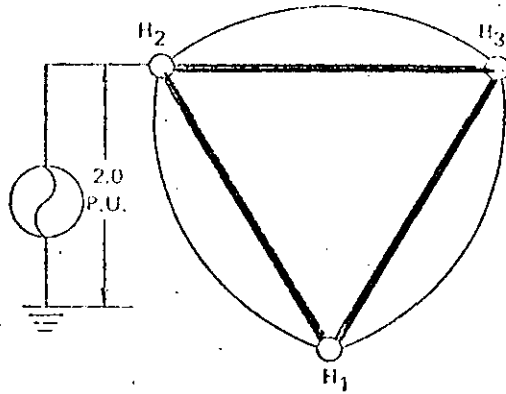


FIGURE LOW-FREQUENCY TRANSFORMER DIELECTRIC TESTS

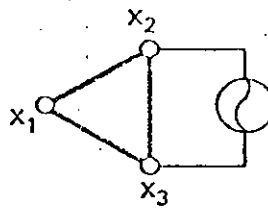
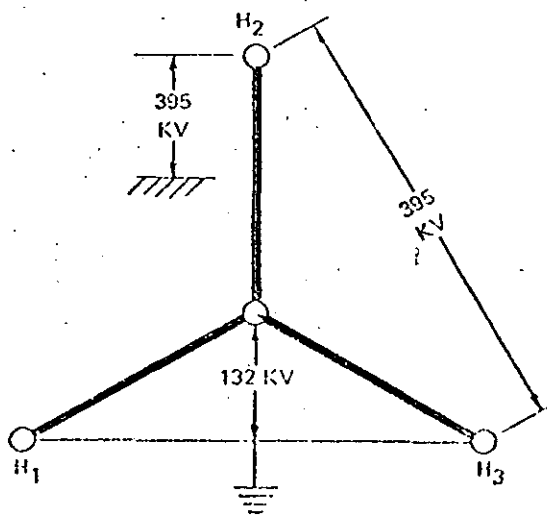


FIGURE LOW-FREQUENCY TEST ON 230 KV, 900 KV BIL THREE PHASE TRANSFORMER

FIG. 3-12

2.1.- Especificaciones fundamentales de Construcción y Diseño.

Las especificaciones mínimas recomendadas por un fabricante a especificar para un usuario son:

ESPECIFICACIONES DEL USUARIO

- 1.- Capacidad del Transformador en KVA.
- 2.- Tensiones de línea en primario y secundario.
- 3.- Conexión del Devanado primario y secundario.
- 4.- Niveles de aislamiento.
- 5.- Número de fases.
- 6.- Frecuencia.
- 7.- Tipo de enfriamiento.
- 8.- Tipo de derivaciones, rango y pasos.
- 9.- Límites máximo de temperatura.
- 10.- Condiciones de prueba.
- 11.- Condiciones anormales de operación.
- 12.- Restricciones de peso y dimensiones
- 13.- Reactancia ó % Impedancia.
- 14.- Pérdidas en carga ó costo capitalizado de las pérdidas por KW.
- 15.- Pérdidas sin carga ó costo capitalizado de las pérdidas -- por KW.
- 16.- Nivel de ruido.
- 17.- Altitud de instalación máxima.
- 18.- Actividad sísmica.

Con estas características claramente especificadas, el fabricante del transformador puede iniciar un diseño para satisfacer cada uno de los puntos de la especificación y que, además, cumpla con el mínimo requerido en calidad, establecido por la "Norma".- Para esto el fabricante genera una especificación la que designaremos como:



- 1.- Tipo de Transformador (Columnas o Acorazado)
- 2.- Arreglo general de los Devanados con respecto al núcleo.
- 3.- Tipo de devanado (Espiral, Discos, Hourglass, etc.)
- 4.- Tipo del conductor del devanado (Cu, Al, Solera, Hoja, cable, transpuesto)
- 5.- Tipo del Núcleo (1,2,3,4,5,7, piernas)
- 6.- Tipo del material y grado del acero eléctrico.
- 7.- Arreglo de enfriamiento (Radiadores en el tanque, separados, bombas, ventiladores, etc)
- 8.- Máximo gradiente térmico en los devanados.
- 9.- Máximas densidades de corriente en los devanados.
- 10.- Máximas pérdidas por corrientes de Eddy en los devanados, expresados en % de las  $(I^2 R)$
- 11.- Máxima densidad de flujo en las piernas del núcleo.
- 12.- Dimensiones de los aislamientos mayores (Entre devanados y de los devanados al núcleo.)
- 13.- Espesor de aislamientos menores (Papel sobre los conductores ancho de los ductos de aceite de los devanados)
- 14.- Tipo de cambiador de derivaciones y posición de las derivaciones sobre el devanado.
- 15.- Tipo de material a utilizarse en el tanque del transformador (Acero, Aluminio, material no magnético)
- 16.- Sensores y equipo auxiliar a utilizarse tanto para servicios propios como para protección del transformador.

Estos puntos, son los mas relevantes en cuanto a la especificación de un diseñador aparte de los aspectos secundarios y que van a complementar la construcción del transformador como son: Pintura, sistema de preservación así como de expansión de aceite, etc.

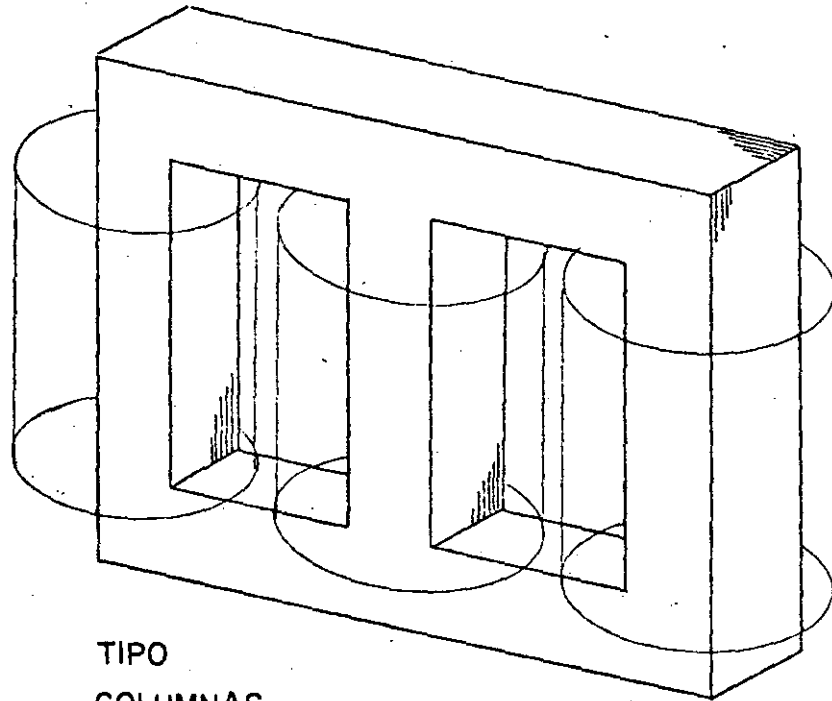
El ingeniero diseñador es el directamente responsable de la - 33  
coordinación de estas dos especificaciones así como de la -  
verificación en la manufactura, de que esté lo más apegado a  
su diseño. Así mismo, es el responsable de generar la infor-  
mación necesaria para el diseño de los aislamientos, ensamble  
de bobinas y diseño de tanque y componentes adicionales así -  
como de la especificación de Pruebas, embarque e instalación.

Básicamente, existen dos formas de construcción de Transformadores, que si analizamos desde el punto de vista electromagnético, no encontraremos ninguna diferencia ya que ambos trabajan bajo el principio de inducción, en el que un devanado con una excitación induce - sobre otro devanado que se encuentran en el mismo núcleo. Pero el punto en cuestión es la forma de construcción que aunque funciona - bajo los mismos principios electromagnéticos, físicamente se comportan de diferente manera ya que como sabemos, en el transformador -- tipo columnas, los devanados envuelven al núcleo y en el transformador tipo acorazado, los devanados son envueltos por el núcleo y con esto le dan una característica óptima en el corto circuito, es por esto que estos transformadores son seleccionados donde las posibilidades de corto circuito son elevadas y en los transformadores para horno. El transformador tipo columnas por su parte es generalmente usado donde la probabilidad de corto circuito no es muy usual, además tiene la ventaja de su bajo peso comparado con el acorazado.

Las características de construcción se muestran en las dos figuras figura 2.1 para el tipo núcleo y la fig. 2.2 para el tipo acorazado.

Las bases dimensionales para el desarrollo del modelo matemático -- son definidas bajo principios fundamentales pero tomando en consideración cada construcción y cada arreglo, estas consideraciones se desarrollan en función de la experiencia del diseñador, de la geometría del arreglo Núcleo-bobinas, lo cual es un aspecto fundamental para todo análisis ya que cualquier cambio que se considere en un transformador, digamos su altura, afectará no sólo las demás dimensiones sino pérdidas, tanto en núcleo, en devanados así como pesos del transformador y esto es a lo que un diseñador se enfrenta cada día - ya que puede tratarse de un transformador para una nueva subestación en la que las dimensiones dependerán entre otras de los transformadores ó puede tratarse de un transformador para instalarse en una -- subestación ya construida, en la que el transformador debe cumplir - las dimensiones de montaje. Otra consideración que se toma en cuenta,

son las ecuaciones que expresan los parámetros de diseño, -- 35  
estas generalmente dependen de las formas que adopten los com-  
ponentes del transformador es decir, núcleo cruciforme, rectan-  
gular, etc. , bobinas cilíndricas, rectangulares, etc. Para-  
establecer las bases del modelo matemático veamos la fig. 2.3.  
la cual muestra básicamente un transformador tipo columnas en  
corte.



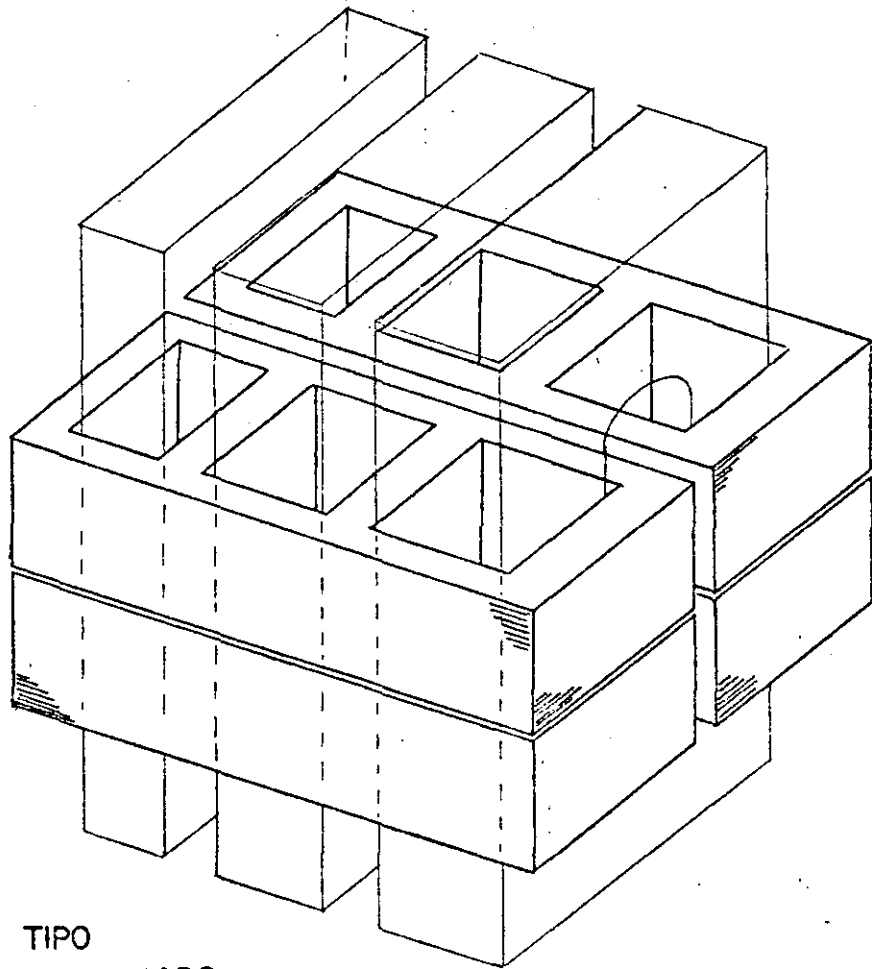
36

TIPO  
COLUMNAS

fig. 2.1

36

fig. 2.1

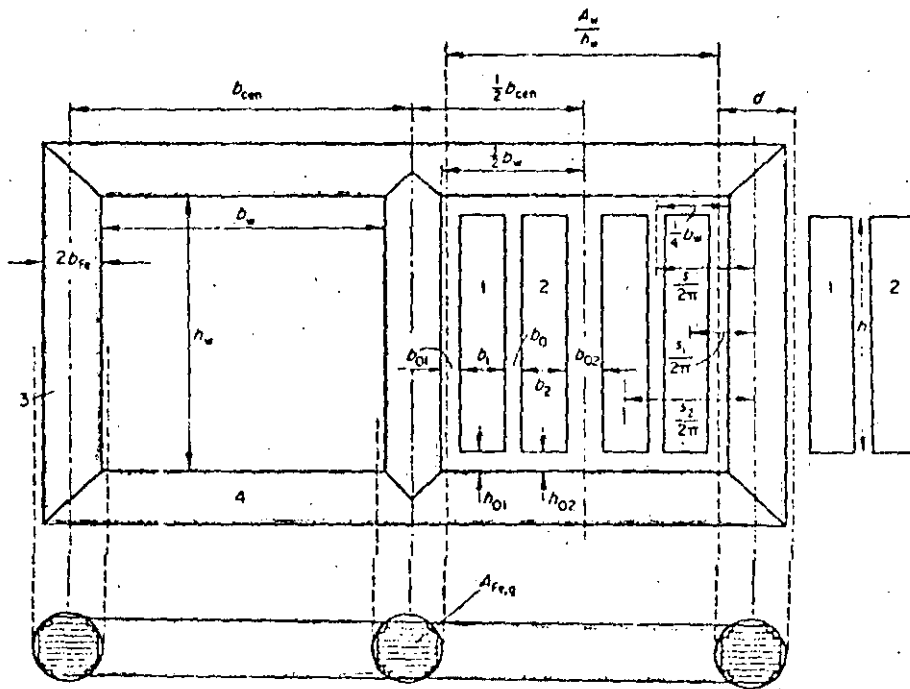


TIPO  
ACORAZADO

fig. 2.2

BASES DEL  
MODELO MATEMATICO

- EXPERIENCIA DEL DISEÑADOR
- GEOMETRIA DEL ARREGLO NUCLEO-BOBINAS
- ECUACIONES QUE EXPRESAN LOS PARAMETROS DE DISEÑO



Transformador  
Tipo Columnas

fig. 2.3.

2.3.- BASES DEL MODELO MATEMATICO Y PARAMETROS

39

Para empezar, diremos que la ecuación fundamental para el diseño en un transformador es la ecuación de inducción para el voltaje generado  $V$  en un conductor que está enrollado con  $N$  vueltas y que se encuentra sometido a un flujo variable con el tiempo es decir

$$V = - N \frac{d\phi}{dt}$$

Donde el flujo tiene la característica  $\phi = \phi_m \cos wt$

Si sustituimos en  $V$

$$V = - N \phi_m \frac{d \cos wt}{dt}$$

$$V = - N \phi_m (-\sin wt) \cdot w$$

Sabiendo que  $w = 2 \pi f$  y  $\phi_m = B_m A$

Para el valor promedio de  $B_m = \frac{B}{2}$  y el voltaje eficaz en volts.

$$V_m = \frac{\sqrt{2} \pi f}{2} N B_m A \times 10^{-8} \text{ Volts.}$$

$$V_m = 4.44 f N B_m A \times 10^{-8} \text{ Volts.}$$

Obteniendo el voltaje por vuelta:

$$\frac{V_m}{N} = 4.44 f B_m A \times 10^{-8} \text{ Volts/vta.}$$

La cual es la ecuación fundamental para iniciar el diseño de los transformadores. Esta ecuación puede verse afectada por factores que dependerán entre otras cosas, por la técnica aplicada, tipo de construcción, cuestiones empíricas que en función de la experiencia se van modificando para tomar en cuenta las imperfecciones que introduce la manufactura, los materiales y en general el conjunto de todos ellos trabajando como una sola unidad.



2.4.- PARAMETROS INICIALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL DISEÑO 70

Un diseño se puede iniciar de dos maneras, la primer manera y menos usual es, partiendo sólo de la especificación del usuario y estableciendo apriori las dimensiones del núcleo, de los conductores, de las bobinas, de los devanados y del conjunto en general y en base a esto iniciar un proceso de intentos en el que cada uno nos obliga a calcular distribución de impulso, impedancia, pérdidas tanto en núcleo como en devanados, temperatura en devanados y así cumplir con cada uno de los parámetros la especificación previamente establecida. Obviamente este proceso de intentos nos llevaría gran tiempo ya que aunque se cuenta con programas digitales todavía requiere de algún tiempo de cálculo manual para las modificaciones que origina cada cambio y de esta manera retroalimentar a la computadora. La segunda manera de diseñar un transformador es utilizando un diseño patrón del que se conocen todos sus parámetros de diseño, de manufactura y de pruebas, obviamente este transformador debe cumplir con el requisito de que sus características deben ser similares a las especificadas para el transformador a diseñar y el caso más óptimo es que el diseño patrón sea idéntico al que se requiere diseñar y en ese caso no hay mas que hacer que duplicarlo. En el caso en que las características son sólo similares, se debe establecer cuales parámetros tienen prioridad, en el caso de transformadores de Potencia, la impedancia es el parámetro fundamental alrededor del cual se mueven los parámetros restantes. Le siguen las pérdidas que en la generalidad se encuentran penalizadas así como la corriente de excitación y posteriormente se encuentran las dimensiones finales. Es responsabilidad del diseñador, diseñar el transformador óptimo que cumpla con las características al 100% buscando la economía tanto en materiales como en mano de obra, por supuesto esto no es posible al 100% ya que entonces, deberíamos tener la especificación óptima que nos coordinará la impedancia adecuada para las correspondientes pérdidas así como para la adecuada coordinación de aislamiento y que además tome en cuenta las características tanto físicas como eléctricas del material, pero por supuesto esto tampoco es posible.

El parámetro inicial con el que iniciaremos el diseño son los volts/vuelta cuya ecuación se determinó en el inciso 2.3. de este capítulo ya que esto nos determinará, el número de vueltas que tengan los devanados especificados para los voltajes-también especificados, una vez establecidos éstos, se definen también secciones transversales de los conductores para las densidades de corriente usadas por cada técnica y en función de estas secciones, se define también si se dividirán los conductores para reducir las corrientes circulantes debidas a flujos dispersos y al mismo tiempo, se define la cantidad de aislamiento que llevarán dichos conductores. Una vez establecido esto y tomando en cuenta que el arreglo de bobinas del modelo patrón se mantendrá sin modificación para no alterar en gran manera la distribución de voltajes de impulso, se definen las dimensiones de la ventana del Núcleo y se verifica que la densidad de flujo magnética para los nuevos volts por vuelta sea el adecuado para la sección transversal del núcleo y de esta manera evitar la saturación.

Si esta densidad no es la adecuada, se modifican, ya sea los volts/vuelta, teniendo que calcular lo anteriormente expuesto de nuevo ó ya sea modificando la sección transversal del Núcleo. Una vez hecho esto se procede a calcular la impedancia del transformador que está en función del flujo disperso entre bobinas, entre devanados y de devanados a núcleo y que se calcula en función de la geometría de las bobinas, dimensiones y distancia entre ellas y de las que cada fabricante tiene su técnica y factores de cálculo en función de su experiencia y de la base teórica. Una vez que se cumple con todos los parámetros especificados, después de cada intento, se hace un último chequeo que consiste en la verificación de:

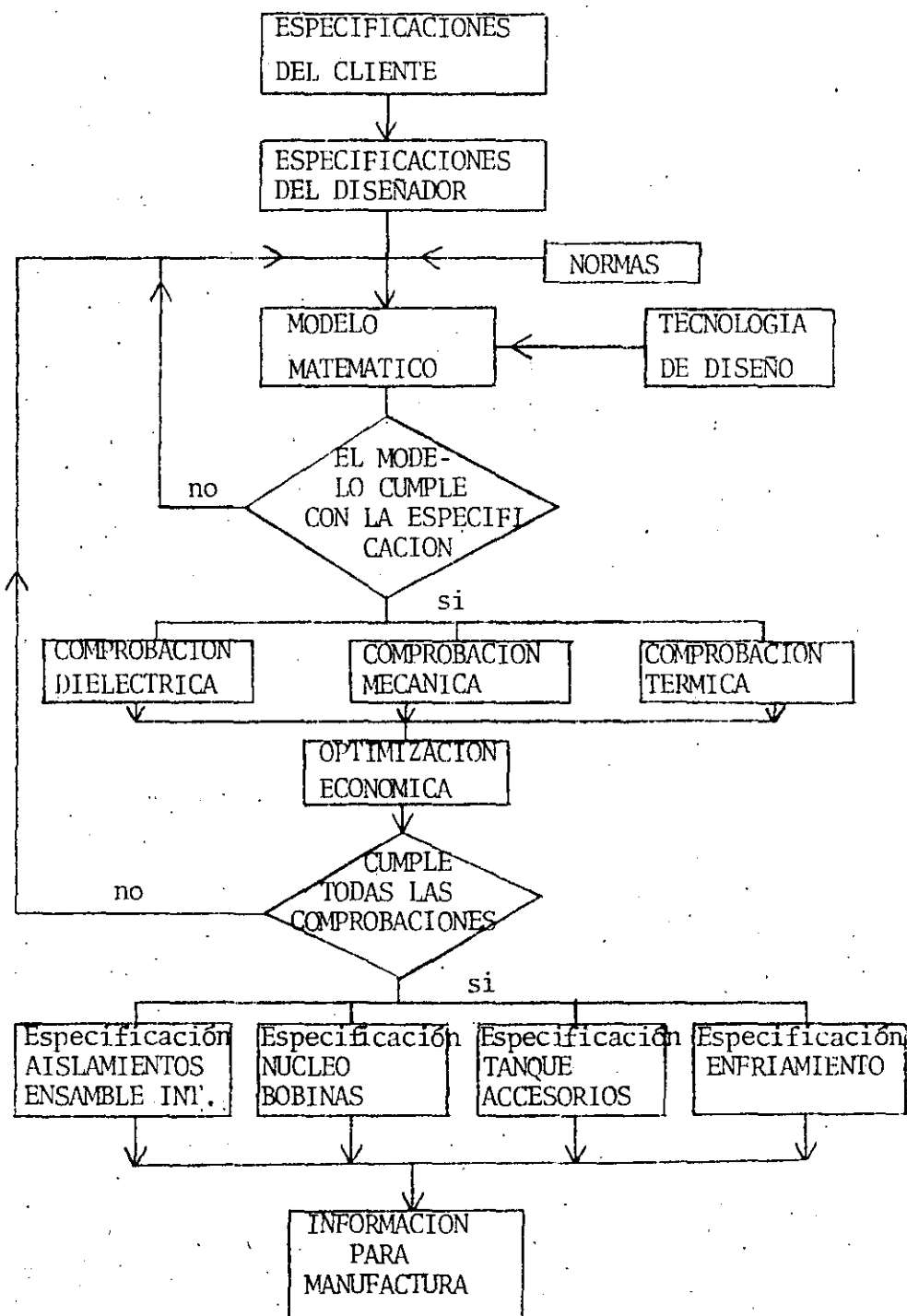
- Dimensiones
- Pesos
- Pérdidas
- Impedancia
- Inducción
- Esfuerzos de corto circuito
- Prueba de Inducido
- Prueba de Impulso
- Cálculo de temperatura

En general esta es la forma en que se efectúa un diseño, aunque se mostró en una forma muy somera, se requiere aproximadamente un mes para establecer un diseño completamente elaborado con toda su especificación además de que se requiere de un ingeniero dedicado de tiempo completo y con experiencia.

2.5.- SECUENCIA DEL DISEÑO DESDE SU NEGOCIACION HASTA SU EMBARQUE

En seguida se muestra el diagrama de flujo que muestra la forma en que es supervisado un diseño, se establece que una vez generada la información para manufactura, el ingeniero de diseño, sigue la manufactura la cual debe ser lo mas apegada del diseño, para posteriormente verificar que se embarca lo diseñado y por supuesto solicitado por el usuario.

DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA



2.6.- CONSIDERACION EN EL DISEÑO TOMANDO EN CUENTA EL MATERIAL  
MAQUINARIA Y MANO DE OBRA

---

44

Al hacer el establecimiento de las ecuaciones para el cálculo del transformador, se hacen desde el punto de vista teórico sin tomar en cuenta la posibilidad de manufactura esto es se establece el caso ideal, de lo que resulta

- Una sección transversal determinada de cobre
- Una sección transversal determinada de Fe eléctrico
- Una compresión de los aislamientos.
- Una calidad en el cobre (blando, duro, altamente conductor, maleable, etc.)
- Una resistencia mecánica del acero estructural principalmente.

Por otro lado de la manufactura del transformador se deriva que durante el manejo de los materiales, estos se ven sujetos a esfuerzos mecánicos debidos a mano de obra directa y al manejo por la maquinaria. Durante el forrado de los conductores, el conductor se ve sujeto a una tensión mecánica producida por dicha máquina, posteriormente este conductor se ve sujeto a otra tensión debido a la máquina devanadora y al tensionado que le da el obrero devanador a efecto de apretar las bobinas en el transcurso del forrado al devanado el conductor ha sido enrollado dos veces lo cual también tiene su parte en la modificación de la sección transversal del conductor. Esta reducción en sección transversal, aunado al número de soldaduras que se tienen que efectuar a la terminación de cada rollo de conductor y mantener una continuidad en el devanado, también se le auna la soldadura que se tiene que hacer para la conexión entre bobinas, que en el mejor de los casos se hará de acuerdo al cálculo y cuando nó, introduce puntos calientes al entrar en operación el aparato, los cuales tienen que ser considerados en el diseño para lograr los límites de temperatura deseados. Esta consideración no es producto de un cálculo ni de una manufactura sino de años de

experimentación y modificación de los modelos que dan lo ---  
mas apegado a la realidad . 75

Por otro lado tenemos el acero eléctrico que de acuerdo a la recomendación del fabricante tiene un factor de estancamiento, el cual tiene que introducirse en el cálculo del dimensionado físico, este factor nos ayudo a tomar en cuenta las deformaciones que sufre el núcleo debido al manejo en transporte y debido al corte al que se ve sujeto por la máquina que lo dimensionará de acuerdo a cálculo, una vez cortado se ve sujeto a la = manufactura para construir lo que será el núcleo y que dependiendo de la prisa con que se haga se deformará más o menos de lo calculado. Esto va a depender de las técnicas de manufactura así como de la calidad de la misma. Se debe tomar en --- cuenta que para el caso de un transformador tipo acorazado --- principalmente la dimensión del núcleo es fundamental, desde el punto de vista mecánico como eléctrico.

Por otro lado los materiales utilizados en los aspectos estructurales es importante para el soporte de todos aquellos esfuerzos tanto estáticos como dinámicos que se presentarán en operación.

En general, la calidad de los materiales dice mucho acerca de un = diseño dado, ambos deben estar compaginados para lograr la combinación optima que resulta en confiabilidad del producto.

4.1.- CONEXION ESTRELLA - ESTRELLA

## Ventajas:

- 1) Mayor utilización del cobre ( vueltas mínimas )
- 2) Aislamiento, mínimo
- 3) Conexión más económica para pequeñas cargas de alto voltaje
- 4) Ambos neutros accesibles para aterrizamiento, o para formar un sistema balanceado de cuatro hilos.
- 5) La capacitancia entre vueltas es relativamente alta, por lo tanto, la severidad del esfuerzo dieléctrico debido a transitorios de voltaje es atenuada.
- 6) Si una fase resulta fallada, es posible utilizar las dos restantes.
- 7) Bajo condiciones de operación normal, el voltaje máximo a tierra en cada base es solo  $1/\sqrt{3}$  del voltaje de línea, graduándose hasta prácticamente cero en el neutro.

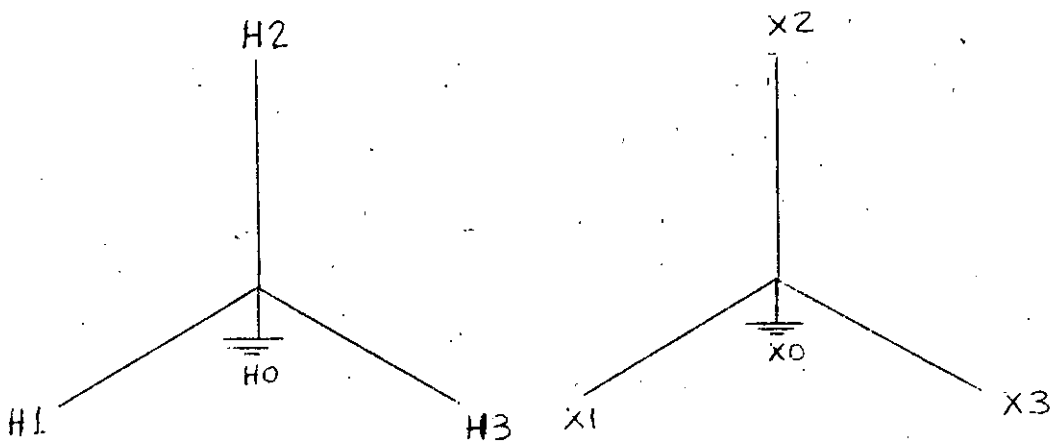
## Desventajas:

- 1) Los neutros són inestables a menos que se aterricen solidamente.
- 2) Unidades trifásicas de polaridad opuesta no pueden operar en paralelo.
- 3) La falla de una fase en un sistema trifásico, lo hará inoperante hasta ser reparado.

Aplicaciones:

- 1) Alimentación de cargas trifásicas balanceadas relativamente pequeñas.

- 2) Para distribución, si es del tipo columnas, ya que el tipo -  
acorazado introduce distorsión debido al contenido de armónica.





El devanado terciario es un devanado adicional, auxiliar en ciertas condiciones y es separado y distinto de los devanados primario y secundario.

Ventajas:

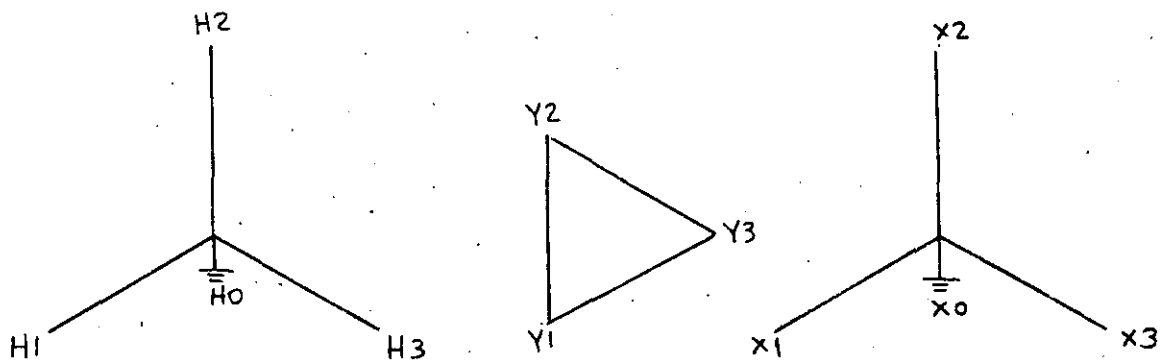
- 1) El devanado terciario proporciona un camino cerrado para los componentes de terceras armónicas de la corriente magnetizante, lo cual elimina voltaje de terceras armónicas en los devanados principales, logrando tener estabilidad en los neutros, y pueden ser aterrizados sin ninguna consecuencia.
- 2) Puede utilizarse el devanado terciario para alimentar -- pequeñas cargas, tales como alumbrado, motores, servicio en general.

Desventajas:

- 1) Incremento del tamaño y costo del transformador.
- 2) El terciario puede alcanzar valores peligrosos de voltajes debido a la inducción electrostática de los otros devanados, por lo que se recomienda aterrizar el terciario.

Aplicaciones.

Cuando se requiere proporcionar un devanado **estabilizador** para circulación de corriente de terceras armónicas



Ventajas:

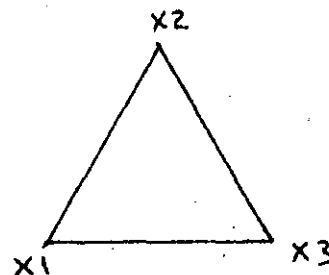
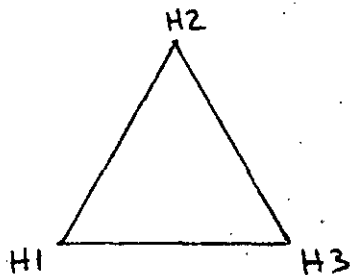
- 1) Con una fase dañada, se puede operar en conexión  $V$  para suministrar  $1/\sqrt{3}$  de la potencia total  $3\phi$ .
- 2) Es la conexión más económica para transformadores de alta corriente y bajo voltaje.
- 3) Los voltajes de terceras armónicas, se eliminan por la circulación de corrientes armónicas a través de la delta.

Desventajas:

- 1) No se dispone de puntos neutros, a menos que se utilicen aparatos auxiliares.
- 2) No se puede alimentar un sistema de 4 hilos a menos que se utilicen aparatos auxiliares.
- 3) El número de vuelta y la cantidad de aislamiento por fase es máximo.

Aplicaciones:

Esta conexión es raramente usada en nuevos sistemas.



4.4.- CONEXION DELTA - ESTRELLA

50

Ventajas:

- 1) Voltajes de terceras armónicas se eliminan por la circulación de corriente armónicas en la delta del primario.
- 2) El neutro del secundario puede ser aterrizado o aislado -- para alimentar un sistema de 4 hilos.
- 3) Es posible alimentar un sistema desbalanceado de 4 hilos - y los desbalances en voltaje son relativamente pequeños, - siendo proporcional sólo a la impedancia interna de los de vanados.

Desventajas:

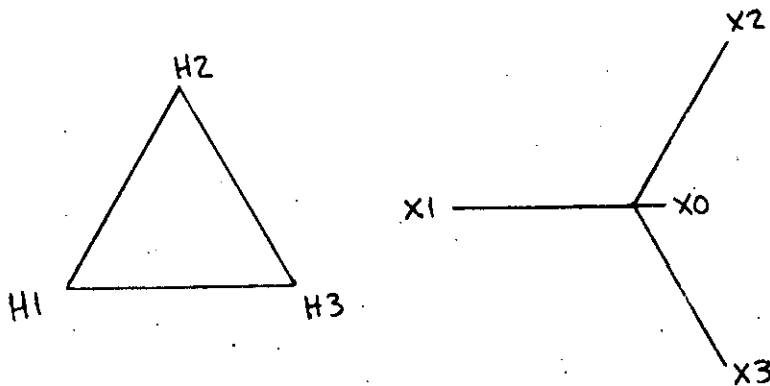
- 1) La falla de una fase saca de servicio al transformador.

Aplicaciones:

Es comúnmente usada para transformadores reductores para alimentar sistema de 4 hilos.

Es también ampliamente usada en transformadores elevadores,

Al aterrizar el neutro del secundario, esta conexión proporciona aislamiento para la corriente de tierra de secuencia - cero, lo cual permite controlar el circuito de secuencia cero desde el secundario, siendo totalmente independiente del primario.



4.5.- CONEXION ESTRELLA → DELTA

Ventajas:

- 1) Voltajes de terceras armónicas se eliminan por la circulación de corrientes de terceras armónicas en la delta del secundario.
- 2) El neutro del primario se mantiene estable por la delta del secundario, y por lo tanto puede ser aterrizado.
- 3) Es la conexión más deseable para grandes transformadores reductores, ya que tiene las desventajas del devanado Estrella para altos voltajes y delta para bajos voltajes.

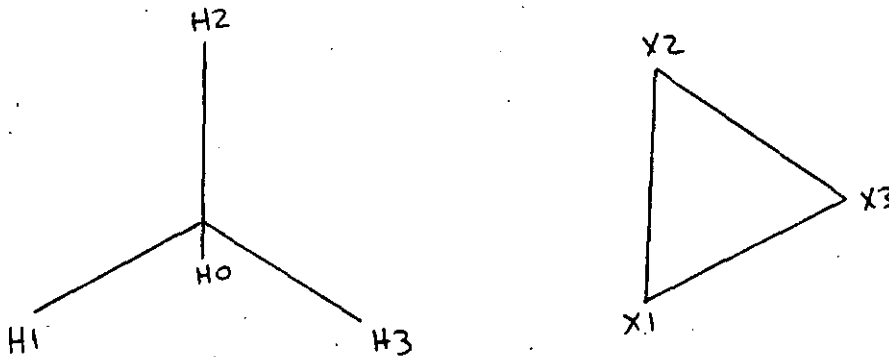
Desventajas:

- 1) No se dispone de neutro en el secundario, a menos que se utilice un aparato auxiliar.
- 2) La falla de una fase saca de servicio al transformador.

Aplicaciones:

Grandes

Transformadores reductores de un sistema de alto voltaje.



4.6.- CONEXION T- T-

52

Ventajas:

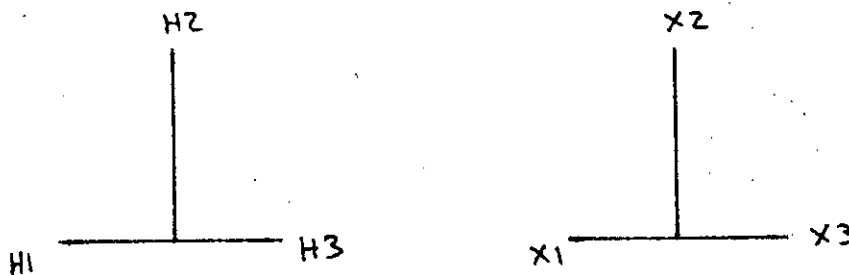
- 1) Característica de voltaje y devanado prácticamente igual a la conexión Estrella-Estrella.
- 2) Pueden alimentarse simultáneamente cargas trifásicas, bi-fásicas y monofásicas.
- 3) Ambos neutros disponibles
- 4) Voltajes y corrientes de terceras armónicas son despreciables.

Desventajas:

- 1) Se necesitan dos transformadores monofásicos para hacer esta conexión.
- 2) Su capacidad debe ser 15.5% mayor que la carga real a alimentar.

Aplicaciones:

Su aplicación es muy reducida, ya que no es común encontrar cargas trifásicas, bifásicas y monofásicas juntas.



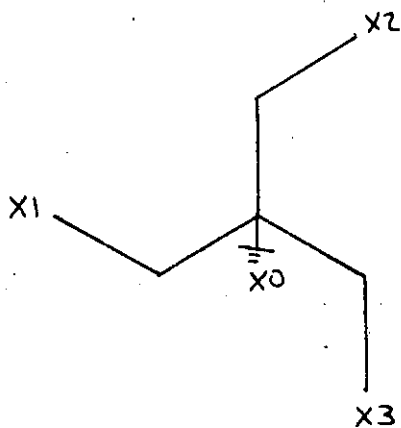
Aplicaciones:

53

Para transformadores de "tierra" .

Se utiliza cuando se desea tener un punto de tierra donde no hay ningún transformador que pueda ser aterrizado.

El transformador de tierra no alimenta ninguna carga, y proporciona corriente solo cuando alguna línea se aterriza por falla.



Ventajas:

54.

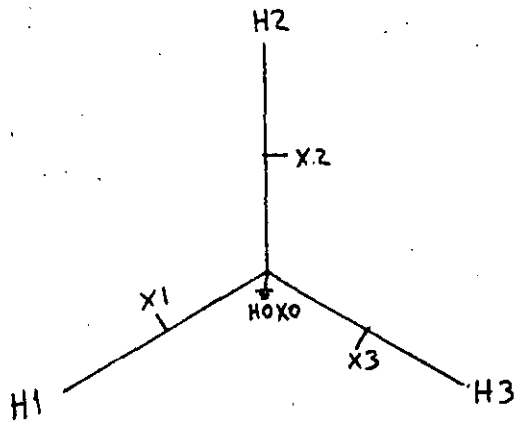
- 1) Menor costo inicial
- 2) Menor tamaño y peso para iguales KVA transformados.

Desventajas:

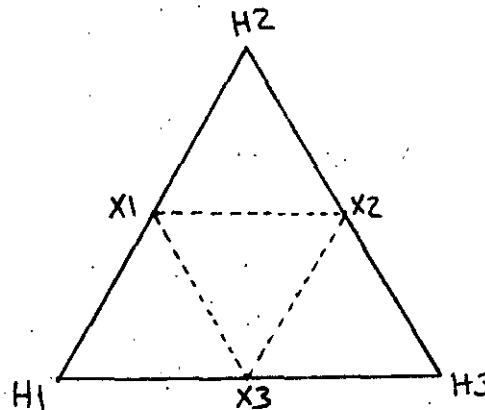
- 1) Siendo la reactancia entre primario y secundario pequeña, un autotransformador está más expuesto a fallar ante un corto circuito externo que un transformador de dos devanados independientes.
- 2) Debido a la continuidad eléctrica entre primario y secundario, el devanado de bajo voltaje debe diseñarse para soportar sobretensiones que pueda recibir el devanado de alta tensión.
- 3) La conexión entre primario y secundario forzosamente debe ser la misma, esto es, Estrella-Estrella, ó Delta-Delta.

Aplicaciones:

El auto-transformador tiene ventajas cuando la relación de transformación es menor o igual a 2, teniendo en cuenta que debe ser protegido por reactores externos.



ESTRELLA-ESTRELLA



DELTA-DELTA

Debido a que en cada vuelta del devanado se induce el mismo voltaje, el voltaje de salida de un transformador puede ser variado a cualquier valor deseado por medio de derivaciones que permiten variar el número de vueltas efectivas.

Las derivaciones se utilizan para regulación, es decir mantener el voltaje de salida constante, al cambiar el voltaje de entrada.

Las derivaciones suelen sacarse del centro del devanado para evitar la asimetría física y eléctrica, lo cual causaría un notable incremento de pérdidas indeterminadas y de fuerzas mecánicas.

Existen dos tipos básicos de cambiadores de derivaciones:

- 1) de operación desenergizada
- 2) de operación bajo carga

El cambiador desenergizado se diseña para ajustar la relación de transformación a intervalos infrecuentes, es decir, cuando el transformador pueda ser desconectado de la línea. Los rangos estandar para estos cambiadores son 10% en 4 pasos de 2.5% c/u, dos arriba y dos abajo del voltaje nominal.

El cambiador bajo carga debe proveer un flujo continuo de potencia a la carga mientras se ejecuta el cambio de derivación. Esto implica que dos derivaciones adyacentes debe conectarse durante el cambio. Para prevenir el flujo de corriente excesivo entre derivaciones, debe colocarse una impedancia entre derivaciones.

Existen básicamente dos tipos de impedancias para tal fin, estas son resistencia y reactancia.

El empleo de una resistencia ha sido utilizado por los europeos, y el mecanismo de switches se diseña para operar con extrema rapidez para limitar el calentamiento en la resistencia.



El sistema de reactancia ha sido utilizado por los euro- 56  
peos y utilizan un reactor que conduce la corriente de --  
carga a cualquier paso de cambio de derivación.

### 5.1 Introducción.

Es responsabilidad de los fabricantes, durante el período de negociación del transformador, determinar que su diseño será adecuado para soportar los esfuerzos máximos que pueden ser generados por las condiciones de falla, las cuales son responsabilidad del usuario especificarlas de acuerdo a las contingencias que probablemente se vaya a ver sometido el transformador.

Por razones de prácticas de diseño por el fabricante y de especificación por el usuario, con el tiempo quedan establecidos parámetros que llegan a considerarse implícitos en la especificación, sin embargo, debido a que el campo de aplicación en transformadores es cada vez mas amplio, habrá casos en que esta situación no sea rutinaria. Es por esto que cada fabricante debe definir sus limitaciones de diseño y establecerlas en sus propuestas.

Lo anteriormente expuesto, es relativo a que el comportamiento mecánico de un transformador debido a las fuerzas presentes durante un corto circuito, están íntimamente ligadas tanto con la estructura aislante que da soporte mecánico a las bobinas y que además tienen su función en la coordinación interna de aislamiento, como con el arreglo que se haga de cada bobina en su localización en los devanados y el núcleo que juega con papel fundamental como soporte de estas fuerzas y de esto dependerá también el diseño y reforzamiento de la estructura externa (tanque).

## 5.2. Principio fundamental de las fuerzas presentes en Transformadores.

Para definir el corto circuito en los devanados, debemos incluir en ésta las magnitudes de corriente que circulan por los devanados, la duración de la corriente durante la falla y la frecuencia de ocurrencia de ésta. Estos parámetros nos ayudarán principalmente a definir las características eléctricas de corto circuito así - como las características dimensionales del material para soportar dichas fuerzas.

Como es sabido las fuerzas presentes obedecen a esfuerzos electromagnéticos opuestos debido a las características propias de construcción y diseño en los diferentes transformadores cuando una falla es presente y estos esfuerzos se verán limitados cuando la corriente de falla del transformador sea también limitada ya sea por la impedancia del sistema sumada a la del transformador desde el punto de generación hasta el punto de falla o por la del transformador como elemento único del sistema y obviamente la magnitud de corriente máxima se obtendrá considerando solamente la impedancia del transformador entre el punto de generación y la falla. En el caso de aplicaciones de transformadores de Distribución, la impedancia del sistema se tiene del lado secundario y generalmente son importantes. Puesto que el análisis de falla se toman en cuenta corrientes debidas a fallas a tierra y fallas entre fases, se deben conocer las relaciones  $X_0/X_1$  ó  $R_0/X_1$ , donde  $X_0$  y  $R_0$  son la reactancia y resistencia de secuencia cero y  $X_1$  la reactancia de secuencia positiva, con la finalidad de analizar todas las posibilidades de falla y determinar la más crítica.

En el caso de cálculo mecánico se deben considerar valores instantáneos de corriente incluyendo transitorios que pudieran existir ya que de reportes obtenidos en campo se ha llegado a lo siguiente:

Puesto que  $i(t) \propto \int e(t) dt$

Si la falla es aplicada en un instante pico de una onda seno de voltaje, la forma de onda de corriente será una onda seno pura (sin componente de C.D.).

La magnitud pico sera  $\sqrt{2}$  veces el valor r.m.s. de la corriente. Sin embargo, si la falla se aplica en el instante cuando el voltaje es cero, la forma de onda de corriente será una onda seno completamente desplazada (componente de C.D., igual a el pico instantáneo de la magnitud de C.A.).

Por otro lado, como la impedancia del transformador contiene una componente resistiva, entonces la componente de corriente continua será amortiguada relativamente rápido.

En la actualidad debido a la falta de estadísticas referentes a:

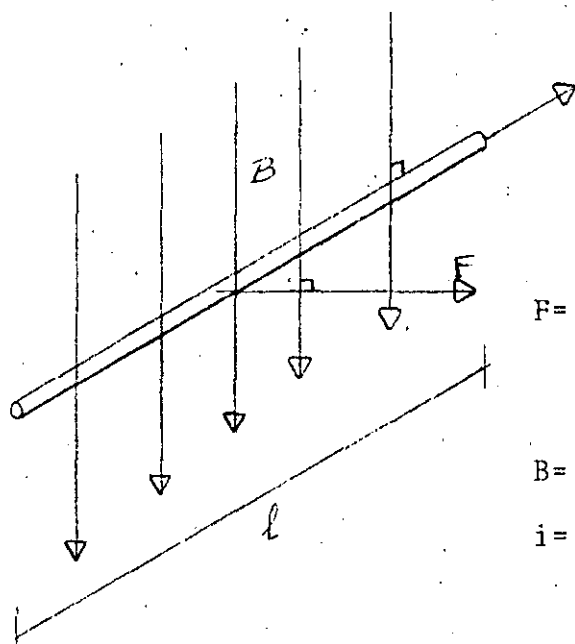
- Carga vectorial en transformadores de 3 devanados
- Frecuencia de Ocurrencia de fallas
- Conexiones y tipos de transformador a los que han ocurrido las fallas.
- Magnitudes de corrientes y voltajes de falla para los transformadores fallados
- Condiciones previas a las fallas
- Características de operación y condiciones de apertura de interruptores
- Causas probables de falla,

en México los transformadores son diseñados considerando el caso más crítico en función de la experiencia y en función de las técnicas nuevas desarrolladas.

## 5.3 Ecuaciones fundamentales para el cálculo de las fuerzas.

60

Basándonos en el principio de que cuando un conductor que lleva una corriente es puesto en un campo electromagnético, alterno - experimenta una fuerza que es perpendicular tanto a la corriente como al campo electromagnético y además ésta fuerza es proporcional al producto de la corriente instantánea por la densidad del flujo.



$$F = B i \quad \text{dinas/cm}$$

$F$  = Fuerza ejercida en el conductor por unidad de longitud (dinas/cm)

$B$  = Densidad de campo (gauss)

$i$  = Corriente instantánea en el conductor (amperes)

Para considerar la fuerza en un conductor de longitud  $l$  tenemos:

$$F = B l i \quad \text{dinas}$$

Si consideramos que la fuerza  $F$  es ejercida en el conductor debido a su corriente  $i$  y al flujo externo  $B$  producido por otro conductor, tomaremos en cuenta que por este conductor que produce el flujo, circulará una corriente  $i'$  y definiremos la densidad del campo promedio para ese conductor de la siguiente manera:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{N i'}{k l'} \quad \text{Tesla ó N/amp-m}$$

- Donde:  $\mu_0$  - Permeabilidad magnética del medio por donde circula el campo Henry/m 61
- N - Número de espiras del conductor que produce el campo
- $i'$  - Corriente que circula por el conductor que produce el campo
- K - Es un factor que toma en cuenta el efecto de los extremos de la bobina para la distorsión del campo.
- $l'$  - Longitud de la trayectoria que efectúa el flujo.

Sustituyendo el valor de la densidad de campo en la de fuerza deducimos que la fuerza de repulsión entre dos conductores que llevan corrientes opuestas ó en el mismo sentido es:

$$F = \frac{\mu_0 N i' l i}{k l'} \text{ Newtons.}$$

Para el caso en que el conductor en el campo sea un arrollamiento la longitud  $l$  se modifica como sigue:

$$l = \text{Vuelta media (m)} \times \text{No. de espiras}$$

$V_m$  - Vuelta media del conductor en el campo;  $N'$  - Número de espiras del conductor en el campo. Sustituyendo en la ecuación de fuerza  $F$ .

$$F = \frac{\mu_0 N i' V_m \times N i}{k l'}$$

$$F = \frac{\mu_0 N N' i i' V_m}{k l'} \text{ Newtons.}$$

Y ésta es la ecuación general para cálculo de esfuerzos eléctricos entre conductores de diferentes características.

Para el caso particular que trate de bobinas iguales, que es el caso práctico  $N=N'$  y tratándose de bobinas en serie  $i=i'$  entonces

$$F = \frac{\mu_0 (N i)^2 V_m}{k l'} \text{ Newtons}$$

Definiremos  $\infty = k l'$  como la trayectoria que sigue el campo

$$F = \mu_0 \frac{(N i)^2}{\infty} \cdot V_m \quad \text{Newtons}$$

62

Y ésta es la ecuación para determinar la fuerza de repulsión -- en el caso específico de que són dos conductores idénticos por lo que pasa la misma corriente.

Esta ecuación se aplica para los siguientes casos:

- Esfuerzos entre conductores de una vuelta
- Esfuerzos entre vueltas de bobina
- Esfuerzos entre bobinas de un mismo devanado.
- Esfuerzos entre devanados
- Esfuerzos entre conexiones de bobinas ó de devanados fuera del conjunto Núcleo bobinas.

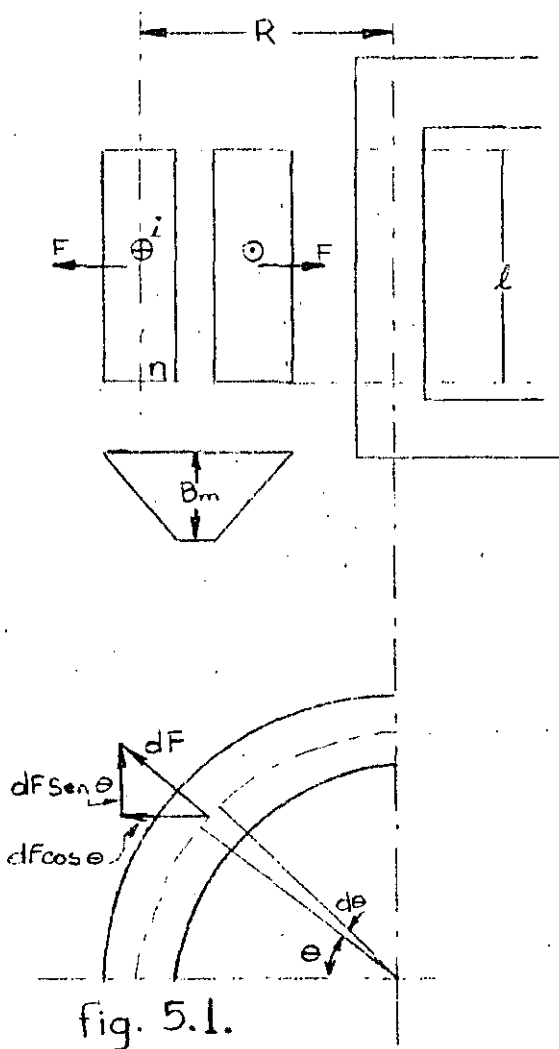
Ya que éstas fuerzas se encuentran en el espacio, es necesario - determinar el sentido de los resultantes para establecer la estructura final complementaria (tanque) ó el bastidor tratándose de transformador acorazado ó tipo Núcleo respectivamente y de sus auxiliares, como veremos en el siguiente punto de este tema.

5.4.- APLICACION DE LAS ECUACIONES A LA DOS FORMAS DE CONSTRUCCION EN TRANSFORMADORES

63

Como mencionamos en el tema anterior de este capítulo, el análisis de esfuerzos mecánicos se efectúa en función de la dirección que lleva el campo con respecto a la posición de los conductores y por supuesto considerando los sentidos de las fuerzas resultantes. De acuerdo a esto haremos la aplicación por separado para cada una de las modalidades tipo núcleo y tipo acorazado empezando con el tipo Núcleo.

El transformador tipo Núcleo tiene una configuración en forma general como se muestra en la figura 5.1.



Donde la parte superior muestra un corte en las piernas de los devanados longitudinalmente a él así como al núcleo, y en la parte inferior muestra una sección de la bobina de alta tensión en planta mostrando las fuerzas que resultan de la repulsión entre los devanados de alta y baja tensión.

En esta (fig.5.1) tenemos lo siguiente:  
 R- Radio medio de la bobina de alta tensión.

F.-Fuerza resultante de repulsión entre devanados.

n.-Número de vueltas del devanado de alta tensión

B<sub>m</sub>.-Densidad de flujo medio

θ.-Ángulo considerado para las fuerzas radiales.



Si ésta fuerza la expresamos en términos de los parámetros antes mencionados, tendremos que

$$F = B l i \quad 67$$

Donde:  $l = n R d \theta$

y:  $B = \frac{\mu_0 n' i'}{2 K l}$

Entonces  $dF = \frac{\mu_0 n' i'}{2 K l} n R d \theta i$

Si tomamos en consideración que dos devanados que se encuentran -- concatenados por el mismo flujo tienen iguales ampere-vueltas entonces:

$$n' i' = ni$$

Entonces, nuestra ecuación de fuerza se modifica como sigue:

$$dF = \frac{\mu_0}{2} \frac{(ni)^2 R d\theta}{K l} \text{ Newtons.}$$

Esta fuerza se compone de dos componentes una que está formada por la componente  $dF \sin \theta$  y la otra por  $dF \cos \theta$ , donde, ésta última --- puede despreciarse ya que en un ángulo de  $180^\circ$  la suma de todas resultará en cero. Entonces, la integral de la primer componente será la tensión mecánica a la que se va a someter el cilindro de la bobina.

$$\int dF = \frac{\mu_0}{2} \frac{R n^2 i^2}{K l} \int_0^\pi \sin \theta d\theta$$

de aquí se obtiene:

$$\begin{aligned} F &= \frac{\mu_0}{2} \frac{n^2 i^2}{k l} R \quad (2) \\ &= \mu_0 \frac{n^2 i^2}{k l} R \end{aligned}$$

Si sustituimos el valor de  $\mu_0$  : Permeabilidad del vacío ó aire

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

Tenemos:

$$F = 4 \pi \times 10^7 \frac{n^2 i^2}{kl} R$$

6.5

Donde:  $2\pi R = V_m$  (vuelta media)

Además, el valor instantáneo de la corriente se expresa de la siguiente manera:

$$i = \sqrt{2} I \sin (wt + \varphi),$$

Entonces:  $i^2 = 2 I^2 \text{Sen}^2 (wt + \varphi)$

Donde:  $I$  es el valor efectivo de la corriente, además el valor promedio es  $1/\sqrt{2}$ . Entonces, considerando el valor máximo de la corriente instantánea:

$$F \text{ prom} = \frac{2}{10^7} \frac{V_m n^2 I^2}{kl} \text{ Newtons.}$$

Si expresamos  $T$  y  $l$  en pulgadas

La ecuación general que nos define la fuerza de repulsión entre devanado de alta y baja tensión en bobinas cilíndricas concéntricas.

$$F \text{ prom} = \frac{0.45}{10^7} \frac{V_m n^2 I^2}{kl} \text{ lbs.}$$

Esta ecuación considera fuerzas en un plano por lo que para considerar fuerzas en otro sentido se debe mover también el plano de trabajo -- aplicando la misma ecuación. La corriente  $I$  dependerá de las condiciones de régimen del transformador, que puede ser desde el caso de operación normal en que depende de las características eléctricas propias de placa especificadas por el usuario, hasta las condiciones de corto circuito en que esta corriente dependerá del tipo de falla, de su localización en el sistema como parte del circuito y de la impedancia propia del transformador.

Como ejemplo podemos utilizar la corriente que circularía en el caso específico de una falla simétrica, la cual se expresa como:

$$I \text{ falla simétrica} = \frac{100}{Z_T} \times I_n \quad I_n - \text{Corriente nominal}$$

Sustituyendo en la ecuación de fuerza

$$F \text{ prom} = \frac{0.45}{10^7} \frac{V_m n^2}{k_l} \frac{(100)^2}{Z_T}$$

$$F \text{ prom} = \frac{0.45}{10^3} \frac{V_m n^2}{k_l} \frac{(I_n)^2}{Z_T} \quad \text{lbs}$$

Y esta ecuación se aplica para determinar la fuerza de repulsión radial entre dos devanados concéntricos sujeto uno de ellos a un corto circuito y que experimenta una impedancia de corto circuito  $Z_T$ .

En el caso en que la bobina de alta tensión tenga derivaciones de voltaje, que es el caso mas general, los dos devanados tendrán el desplazamiento axial ya mencionado, lo cual, haciendo una representación gráfica tanto de los devanados como de las fuerzas presentes nos quedaría como la muestra de la fig. 5.2.

Para el análisis de estas fuerzas la ecuación encontrada, también se aplica, donde la componente radial será  $F_H = F \text{ prom } \cos \alpha$  y la componente axial será

$$F_v = F \text{ prom } \sin \alpha$$

Esta última puede alcanzar valores muy altos, por lo que se deben considerar implementos adecuados para que esta fuerza sea uniformemente distribuida y no se provoquen esfuerzos excesivos en porciones del núcleo.

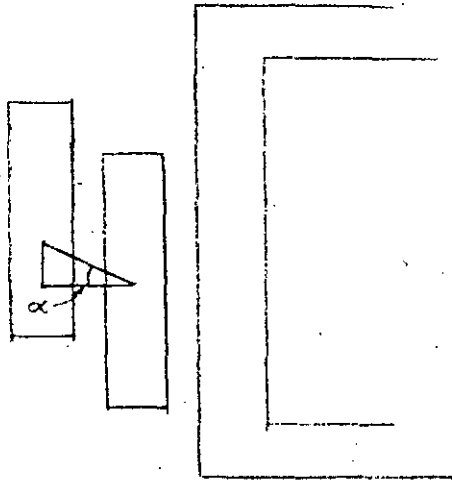
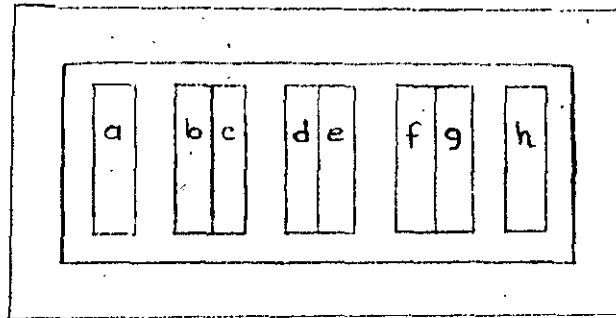


Fig. 5.2.

Para el caso de transformadores tipo acorazado en el que las bobinas tienen forma de galleta, que es el término común con el que se les conoce, las bobinas se arreglan en forma simétrica como se muestra en la figura.



Estas bobinas nos producen fuerzas de repulsión entre ellas como lo muestra el diagrama, estas fuerzas son entre pares de bobina - a-b, c-d, e-f y g-h, es decir la fuerza en "a" se opone a "b" y así subsecuentemente. El diagrama de ampere-vueltas indica que las bobinas 1 y 8 tienen una fuerza desbalanceada en los extremos del devanado para lo cual, el transformador deberá contar con los implementos suficientes para soportarlas. Estas fuerzas se calculan de la siguiente manera:

Como ya vimos la densidad de flujo promedio se expresa como:

$$B \text{ prom} = \frac{\mu_0}{2} \frac{ni}{e}$$

y la fuerza debida a la reacción entre el campo magnético y la corriente  $i$  en las  $n$  vueltas de las bobinas externas es:

$$F = B \text{ prom} \quad V_m \quad ni \quad \text{Newtons.}$$

Sustituyendo el valor de  $\mu_0$  y  $B \text{ prom}$  y considerando el valor instantáneo máximo de la corriente, tenemos:

$$F \text{ prom} = \frac{1.41}{10^7} \frac{n^2}{x} \frac{V_m I^2}{1} \quad \text{lbs.}$$

$V_m$  y  $l$  deben expresarse en pulgadas ó piés ambas.

Esta ecuación se aplica en casos en que el diagrama de ampere-vueltas es simétrico y se cumple que la fuerza presente es la de las bobinas externas.

En el caso en que el diagrama de ampere vueltas no es simétrico, <sup>67</sup> no indicará que existen fuerzas internas en el devanado que no son compensadas, las cuales son transmitidas a las bobinas de los extremos a través de la estructura aislante y de las demás bobinas, por lo que se debe tomar provisión en los soportes externos para estas fuerzas que llegan a alcanzar hasta un par de millones de -- libras en el caso de corto circuito.

6.1.- Medios de Transferencia de Calor en el Transformador

El calor producido por las pérdidas dentro del transformador debe ser transferido al exterior del tanque para que no se sobrecalienten el cobre y los aislamientos del transformador.

El calor generado en el cobre de los devanados es recogido primeramente por el aceite refrigerante, el cual al calentarse empieza a circular en forma natural por el efecto de termosifón. (el aceite más caliente se mueve al nivel superior)

El calor del aceite se transmite también a las paredes del tanque del transformador de donde es transferido a la atmósfera circundante por convección natural y por radiación, sin embargo, estos mecanismos de transferencia de calor no son suficientes para disipar todo el calor generado por lo que es necesario agregar radiadores de aletas para aumentar el área de disipación por convección y radiación. Estos radiadores van conectados al tanque en las partes superior e inferior. El aceite caliente que se encuentra en la parte superior del tanque circulará en forma natural hacia los radiadores, por los cuales será enfriado al intercambiar calor con el aire del ambiente exterior, entrando nuevamente al tanque por la parte inferior, con lo que se establece una circulación natural de aceite. Esta circulación puede incrementarse en forma forzada, ya sea haciendo circular aire forzado entre los radiadores (por medio de motoventiladores), haciendo circular el aceite a mayor velocidad por medio de motobombas, ó bien haciendo circular el aceite por un intercambiador de calor agua-aceite, ó bien alguna combinación de los sistemas mencionados.

Según el medio de enfriamiento, la norma ANSI distingue los siguientes sistemas de enfriamiento:

TIPO

OA	(oil-air)	circulación natural de aceite y aire
FA	(forced air)	circulación forzada de aire por ventiladores
FOA	(forced oil & air)	circulación forzada de aire y aceite.
OW	(oil-water)	circulación natural de aceite y agua
FOW	(forced-oil & water)	circulación forzada de aceite y agua.

Un transformador puede tener varias capacidades según el tipo de enfriamiento, así por ejemplo, hay transformadores:

<u>CLASE</u>	<u>MVA</u>
OA/FA/FA	12/16/20
OA/FA/FOA	20/25/30
OW/FOW	30/40 ... etc.

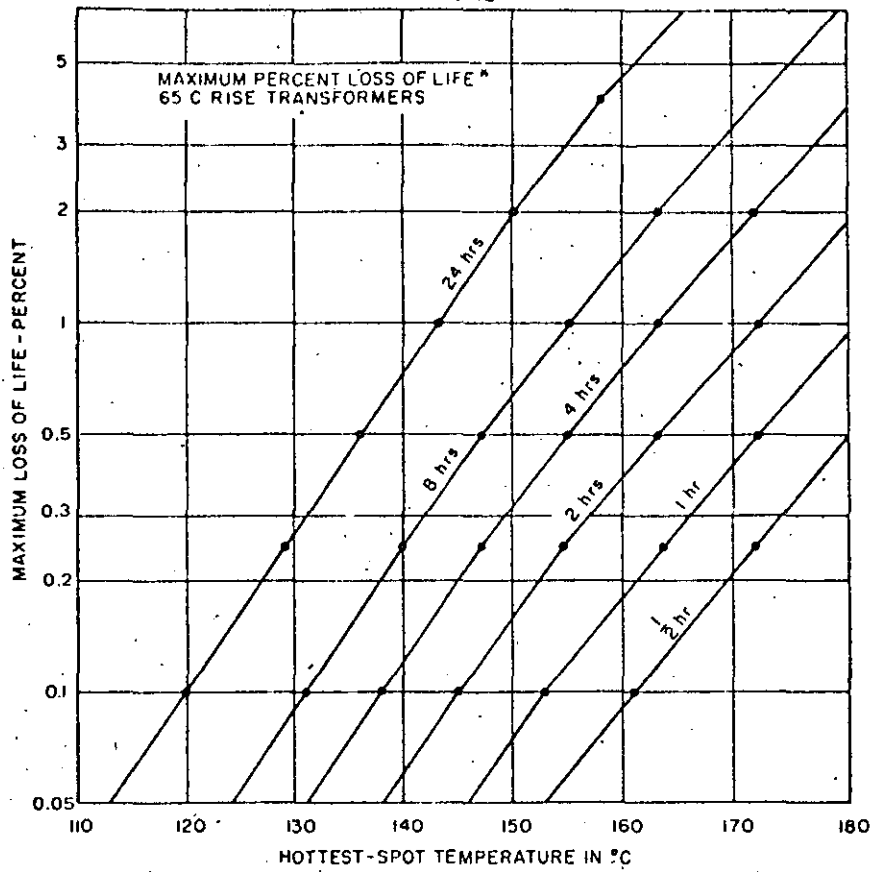
#### 6.2.- Guías de Carga y Sobre Carga de Transformadores

Las normas establecen una temperatura promedio diaria de 95°C para el punto más caliente del devanado como guía de una esperanza de vida útil satisfactoria, en las siguientes bases:

Temperatura ambiente promedio diaria	= 30°C
Elevación promedio del devanado sobre ambiente	= 55
Temperatura promedio diaria del devanado	= 85
Diferencial entre dev.promedio y punto más caliente	= 10
Temp. promedio diaria del punto más caliente	= 95
Temperatura ambiente máxima	= 40
Temperatura máxima del punto más caliente	= 105

Si la temperatura alcanza un valor mayor de 95°C los aislamientos se deterioran más rápidamente. Un aumento así podría ser tolerado en la base de que no ocurra muy frecuentemente y sea de corta duración. Las guías de sobre carga nos dan una idea de los aumentos permisibles durante cierto tiempo, y la correspondiente pérdida de vida que estos representan.





\*Expressed as percent loss of life for one occurrence of specified time duration for operation at temperature indicated.

Hottest-Spot Temperature in Degrees  
Maximum Loss of Life (%)

Duration Hours	0.1	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
1/2	161	172	180			
1	153	163	172	180		
2	145	155	163	172	180	
4	138	147	155	163	172	180
8	131	140	147	155	163	172
24	120	129	136	143	150	158

Fig 3  
Maximum Loss of Life - 65 °C Rise Transformers

Table 5(d)  
 Capability Table for Normal and Moderate Sacrifice of Life  
 55 °C Rise, Self-Cooled (OA) and Water-Cooled\* (OW) Transformers  
 Equivalent Load Before Peak Load = 100% of Nameplate Rating

Hours of Peak Load	% Loss of Life	Ambient °C																		
		0			10			20			30			40			50			
		Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	
1/2	Normal	2.00	116	55	2.00	126	65	1.92	131	74	1.00	95	75	1.91	150	94				
	0.25							2.00	136	75	2.00	146	85							
	0.50																	1.72	149	<u>102</u>
	1.00																			
	2.00																			
1	Normal	2.00	125	64	1.92	129	72	1.70	124	78	1.00	95	75	1.69	143	97	1.50	142	<u>103</u>	
	0.25				2.00	135	74	2.00	145	84	1.92	149	92	1.86	<u>155</u>	<u>101</u>				
	0.50																			
	1.00																			
	2.00																			
2	Normal	1.04	125	72	1.70	123	77	1.50	118	80	1.00	95	75	1.47	126	99	0.50	92	85	
	0.25	2.00	138	78	2.00	148	88	1.86	146	92	1.69	142	96	1.63	147	<u>104</u>	1.31	135	<u>104</u>	
	0.50							1.95	<u>154</u>	96	1.80	<u>151</u>	100							
	1.00																			
	2.00																			
4	Normal	1.64	118	74	1.51	116	77	1.34	112	80	1.00	95	75	1.31	129	98	0.81	103	88	
	0.25	1.87	141	87	1.76	140	91	1.63	138	94	1.50	135	97	1.44	140	<u>104</u>	1.10	129	<u>103</u>	
	0.50	1.94	149	91	1.83	147	95	1.72	146	99	1.59	143	<u>101</u>							
	1.00	2.00	<u>155</u>	95	1.91	<u>155</u>	99	1.80	<u>154</u>	<u>103</u>										
	2.00																			
8	Normal	1.48	110	72	1.37	108	75	1.23	104	77	1.00	95	75	1.20	122	95	0.94	110	92	
	0.25	1.69	131	85	1.59	130	88	1.48	129	91	1.36	127	94	1.30	131	<u>101</u>	1.13	125	<u>101</u>	
	0.50	1.75	138	90	1.65	137	93	1.55	136	96	1.43	134	99							
	1.00	1.81	146	94	1.72	145	97	1.62	144	100	1.51	142	<u>103</u>							
	2.00	1.83	<u>153</u>	98	1.78	<u>152</u>	<u>102</u>													
24	Normal	1.34	97	65	1.23	96	68	1.13	96	72	1.00	95	75	0.86	94	78	0.70	93	81	
	0.25	1.52	116	77	1.42	115	80	1.32	114	83	1.22	115	87	1.10	114	90	0.98	113	94	
	0.50	1.58	122	80	1.48	122	84	1.38	121	87	1.28	121	91	1.17	120	94	1.05	119	97	
	1.00	1.63	128	84	1.54	128	88	1.45	127	91	1.35	128	95	1.24	127	98	1.13	126	<u>102</u>	
	2.00	1.70	135	89	1.61	135	93	1.52	135	96	1.41	134	99	1.31	134	<u>103</u>				
4.00	1.76	143	93	1.67	143	97	1.58	142	100	1.48	142	<u>104</u>								

NOTE: Underlined values, though beyond recommended limits (see 5.2.2.4), are given to assist in interpolation of the maximum limit. % loss of life is in addition to normal loss of life.  
 \*Actual water temperature should be 5 °C lower than the ambient temperatures shown above (see 3.5), and must be above zero °C.

73

Table 5(h)  
 Capability Table for Normal and Moderate Sacrifice of Life  
 55 °C Rise, Forced-Air-Cooled (OA/FA) Transformers Rated 133% or Less of Self-Cooled Rating  
 Equivalent Load Before Peak Load = 100% of Maximum Nameplate Rating

Hours of Peak Load	% Loss of Life	Ambient °C																	
		0			10			20			30			40			50		
		Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)
1/2	Normal	2.00	133	57	1.92	136	65	1.73	132	71	1.06	98	70	1.72	150	91			
	0.25				<u>2.22</u>	<u>161</u>	72	<u>2.08</u>	<u>159</u>	79	1.94	<u>157</u>	85				1.56	149	98
	0.50																1.82	<u>168</u>	<u>103</u>
	1.00																		
	2.00																		
1	Normal	1.84	131	64	1.72	129	70	1.55	124	74	1.06	98	71	1.53	143	94			
	0.25	<u>2.09</u>	<u>155</u>	74	1.98	<u>154</u>	80	1.86	<u>153</u>	85	1.72	149	90	1.67	<u>155</u>	98	1.41	143	100
	0.50										1.82	<u>159</u>	94						
	1.00																		
	2.00																		
2	Normal	1.66	125	69	1.54	123	73	1.39	118	76	1.03	97	71	1.38	136	95			
	0.25	1.86	148	80	1.77	147	85	1.66	146	89	1.54	143	93	1.49	147	100	1.25	135	99
	0.50	1.93	<u>156</u>	84	1.83	<u>154</u>	89	1.73	<u>153</u>	93	1.62	<u>151</u>	97				1.42	<u>151</u>	<u>107</u>
	1.00																		
	2.00																		
4	Normal	1.50	116	69	1.40	115	72	1.27	111	74	1.02	96	70	1.25	129	93			
	0.25	1.68	139	82	1.59	138	85	1.50	136	89	1.39	134	91	1.34	139	99	1.16	129	98
	0.50	1.74	146	86	1.65	145	89	1.56	144	93	1.46	142	96	1.43	148	<u>104</u>	1.30	144	<u>106</u>
	1.00	1.80	<u>154</u>	90	1.71	<u>153</u>	94	1.62	<u>152</u>	97	1.54	<u>151</u>	<u>101</u>						
	2.00																		
8	Normal	1.40	108	65	1.30	107	68	1.19	104	71	1.01	95	70	1.17	122	90			
	0.25	1.56	129	78	1.48	128	81	1.39	127	84	1.29	125	87	1.25	130	95	1.09	124	95
	0.50	1.61	135	81	1.53	134	85	1.45	134	89	1.35	132	92	1.32	138	99	1.20	135	<u>102</u>
	1.00	1.67	143	86	1.59	142	89	1.51	141	93	1.42	140	96	1.39	146	<u>104</u>			
	2.00	1.72	150	90	1.64	149	94	1.57	149	98	1.48	148	<u>101</u>						
24	Normal	1.29	95	58	1.20	95	62	1.10	95	65	1.00	95	70	1.09	113	84			
	0.25	1.45	114	69	1.36	113	73	1.27	113	77	1.18	113	81	1.14	119	88	1.04	118	92
	0.50	1.49	120	73	1.41	120	77	1.33	120	80	1.24	119	84	1.20	125	92	1.11	125	96
	1.00	1.54	127	77	1.46	127	80	1.38	126	84	1.30	126	88	1.27	132	96	1.17	132	100
	2.00	1.59	133	81	1.52	133	85	1.44	133	88	1.36	133	92	1.33	140	100			
4.00	1.65	141	85	1.57	140	89	1.50	141	93	1.41	140	96							

NOTE: Underlined values, though beyond recommended limits (see 5.2.2.4), are given to assist in interpolation of the maximum limit. % loss of life is in addition to normal loss of life.

TRANSFORMERS UP TO 100 MVA WITH 55 °C OR 65 °C AVERAGE WINDING RISE

ANSI/IEEE  
C57.93-1981

74

77

Table 5(1)  
 Capability Table for Normal and Moderate Sacrifice of Life  
 55 °C Rise, Forced-Oil-Cooled (Directed Flow – FOA, FOW\*, and OA/FOA/FOA) Transformers  
 Equivalent Load Before Peak Load = 100% of Maximum Nameplate Rating

Hours of Peak Load	% Loss of Life	Peak Load (Per Unit)	Ambient °C																
			0	10	20	30	40	50											
			Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)
1/2	Normal	1.71	138	57	1.62	137	63	1.50	133	70	1.00	95	67	1.49	152	89	1.41	152	97
	0.25	1.88	162	63	1.80	161	70	1.73	160	77	1.63	158	84						
	0.50																		
	1.00																		
	2.00																		
1	Normal	1.57	131	62	1.49	130	68	1.38	125	72	1.00	95	67	1.37	144	92	1.28	144	98
	0.25	1.73	155	71	1.66	154	77	1.59	153	83	1.49	150	88	1.45	155	96	1.42	161	104
	0.50																		
	1.00																		
	2.00																		
2	Normal	1.46	124	65	1.38	122	69	1.28	119	73	1.00	95	67	1.27	137	92	0.50	76	60
	0.25	1.60	147	76	1.53	146	80	1.46	145	85	1.38	142	89	1.34	147	97	1.19	137	97
	0.50	1.64	154	79	1.58	153	84	1.51	152	88	1.43	151	93	1.41	156	101	1.30	152	104
	1.00																		
	2.00																		
4	Normal	1.37	115	63	1.30	114	67	1.20	111	70	1.00	95	67	1.19	129	89	0.75	90	76
	0.25	1.50	137	74	1.44	136	79	1.37	135	83	1.29	133	87	1.26	139	94	1.13	130	95
	0.50	1.54	144	77	1.48	143	82	1.41	143	87	1.34	141	91	1.31	147	98	1.22	143	101
	1.00	1.58	152	81	1.52	151	86	1.46	150	91	1.39	149	95	1.38	156	103			
	2.00																		
8	Normal	1.30	106	59	1.23	106	63	1.15	104	67	1.00	95	67	1.13	122	86	0.94	108	83
	0.25	1.43	126	69	1.37	126	74	1.30	126	78	1.23	125	83	1.19	129	90	1.08	125	92
	0.50	1.47	133	73	1.41	132	77	1.34	132	82	1.27	132	86	1.25	138	94	1.16	135	97
	1.00	1.51	140	76	1.45	140	81	1.39	139	85	1.32	139	90	1.30	146	98	1.22	144	102
	2.00	1.55	148	80	1.49	147	85	1.43	147	89	1.37	146	94	1.35	154	102			
24	Normal	1.23	96	53	1.16	95	58	1.09	96	63	1.00	95	67	0.91	94	71	0.80	94	76
	0.25	1.35	114	62	1.29	114	67	1.22	114	72	1.15	114	77	1.07	114	81	0.98	113	86
	0.50	1.39	120	66	1.33	120	71	1.26	120	75	1.19	120	80	1.12	120	85	1.04	119	89
	1.00	1.43	126	69	1.37	126	74	1.30	126	79	1.23	126	83	1.16	126	88	1.09	126	93
	2.00	1.47	133	73	1.41	133	77	1.35	133	82	1.28	133	87	1.21	132	91	1.14	133	96
4.00	Normal	1.51	141	77	1.45	140	81	1.39	140	86	1.33	140	91	1.27	140	96	1.20	140	100
	0.25																		
	0.50																		
	1.00																		
	2.00																		

NOTE: Underlined values, though beyond recommended limits (see 5.2.2.4), are given to assist in interpolation of the maximum limit.  
 % loss of life is in addition to normal loss of life.

\*Actual water temperature should be 5 °C lower than the ambient temperatures shown above (see 3.5), and must be above zero °C.

TRANSFORMERS UP TO 100 MVA WITH 55 °C OR 65 °C AVERAGE WINDING RISE  
 ANSII/IEEE C57.92-1981

Table 5(q)  
Capability Table for Normal and Moderate Sacrifice of Life  
55 °C Rise, Forced-Air-Cooled (OA/FA/FA) Transformers Over 133% of Self-Cooled Rating  
Equivalent Load Before Peak Load = 100% of Maximum Nameplate Rating

Hours of Peak Load	% Loss of Life	Ambient °C																	
		0			10			20			30			40			50		
		Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Tmp (°C)	Top-Oil Tmp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Tmp (°C)	Top-Oil Tmp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Tmp (°C)	Top-Oil Tmp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Tmp (°C)	Top-Oil Tmp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Tmp (°C)	Top-Oil Tmp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Tmp (°C)	Top-Oil Tmp (°C)
1/2	Normal	1.91	138	59	1.79	136	65	1.63	132	71	1.06	99	68						
	0.25	<u>2.15</u>	<u>162</u>	67	<u>2.05</u>	<u>161</u>	73	1.93	<u>160</u>	80	1.80	<u>157</u>	86	1.63	<u>152</u>	91	1.50	<u>151</u>	97
	0.50																		
	1.00																		
	2.00																		
1	Normal	1.72	131	65	1.61	130	70	1.47	125	74	1.06	99	68						
	0.25	1.93	<u>156</u>	75	1.83	<u>154</u>	80	1.73	<u>153</u>	85	1.62	<u>150</u>	90	1.45	<u>144</u>	93	1.34	<u>143</u>	98
	0.50													1.57	<u>156</u>	98	1.51	<u>159</u>	<u>105</u>
	1.00																		
	2.00																		
2	Normal	1.56	124	67	1.46	122	71	1.34	118	73	1.03	97	68						
	0.25	1.74	147	79	1.66	146	83	1.56	144	87	1.46	142	91	1.31	135	92	1.22	135	97
	0.50	1.80	<u>155</u>	83	1.71	<u>153</u>	87	1.63	<u>152</u>	91	1.54	<u>151</u>	95	1.42	147	98	1.38	<u>152</u>	<u>106</u>
	1.00													1.50	<u>157</u>	<u>103</u>			
	2.00																		
4	Normal	1.45	115	64	1.35	113	68	1.24	110	71	1.02	96	67						
	0.25	1.61	137	77	1.53	136	81	1.45	135	84	1.34	132	87	1.22	128	89	1.14	129	94
	0.50	1.66	143	81	1.58	143	84	1.50	142	88	1.41	141	92	1.30	138	95	1.27	143	<u>102</u>
	1.00	1.71	<u>151</u>	85	1.63	150	89	1.56	150	93	1.48	149	97	1.38	146	100			
	2.00										1.54	<u>157</u>	<u>101</u>						
8	Normal	1.37	106	60	1.28	105	64	1.17	103	67	1.01	95	67						
	0.25	1.52	126	71	1.45	126	76	1.36	125	79	1.27	124	83	1.16	121	86	1.09	124	92
	0.50	1.57	133	75	1.49	132	79	1.41	132	83	1.33	131	87	1.23	129	90	1.19	135	98
	1.00	1.62	140	79	1.55	140	83	1.46	139	87	1.38	138	91	1.30	137	95	1.27	144	<u>103</u>
	2.00	1.67	147	83	1.60	147	88	1.52	147	92	1.45	146	96	1.36	146	100			
24	Normal	1.28	95	54	1.19	95	58	1.10	95	62	1.00	95	67						
	0.25	1.42	113	64	1.34	113	68	1.26	113	73	1.17	113	77	1.08	113	81	1.04	118	89
	0.50	1.47	120	68	1.39	119	72	1.31	119	76	1.23	119	80	1.13	118	84	1.10	125	92
	1.00	1.52	126	71	1.44	126	75	1.37	126	80	1.28	126	84	1.20	125	88	1.16	132	96
	2.00	1.57	133	75	1.49	132	79	1.42	133	84	1.34	133	88	1.25	132	92	1.23	139	100
4.00	1.62	140	79	1.54	140	83	1.48	140	88	1.39	140	92	1.31	139	96				

NOTE: Underlined values, though beyond recommended limits (see 5.2.2.4), are given to assist in interpolation of the maximum limit. % loss of life is in addition to normal loss of life.

76

Table 5(u)  
 Capability Table for Normal and Moderate Sacrifice of Life  
 55 °C Rise Forced-Oil-Cooled (Non-Directed Flow – FOA, FOW\*, and OA/FOA/FOA) Transformers  
 Equivalent Load Before Peak Load = 100% of Maximum Nameplate Rating

Hours of Peak Load	% Loss of Life	Ambient °C																		
		0			10			20			30			40			50			
Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)	Peak Load (Per Unit)	Hot-Spot Temp (°C)	Top-Oil Temp (°C)
1/2	Normal	1.88	139	62	1.76	137	68	1.61	133	73	1.06	99	68							
	0.25	<u>2.10</u>	<u>162</u>	71	<u>2.00</u>	<u>162</u>	77	1.89	<u>160</u>	83	1.77	<u>157</u>	88	1.59	<u>151</u>	92	1.47	150	98	
	0.50																			
	1.00																			
	2.00																			
1	Normal	1.68	132	67	1.58	130	72	1.44	125	75	1.03	97	68							
	0.25	1.88	<u>156</u>	79	1.79	<u>155</u>	84	1.70	<u>154</u>	88	1.59	<u>151</u>	92	1.44	145	95	1.31	142	99	
	0.50													1.54	<u>156</u>	100	1.49	<u>160</u>	<u>107</u>	
	1.00																			
	2.00																			
2	Normal	1.53	124	69	1.44	123	73	1.31	118	74	1.03	97	68							
	0.25	1.69	147	82	1.61	146	86	1.53	145	89	1.44	143	93	1.30	136	93	1.22	137	98	
	0.50	1.74	<u>155</u>	87	1.67	<u>154</u>	91	1.59	<u>153</u>	94	1.50	150	97	1.39	147	99	1.34	<u>151</u>	<u>106</u>	
	1.00													1.47	<u>158</u>	<u>105</u>				
	2.00																			
4	Normal	1.42	115	66	1.33	114	69	1.23	110	71	1.02	96	67							
	0.25	1.57	137	80	1.50	136	83	1.41	135	86	1.33	133	89	1.21	128	90	1.14	130	95	
	0.50	1.61	144	84	1.54	143	87	1.46	142	90	1.38	140	93	1.29	138	96	1.25	143	<u>103</u>	
	1.00	1.66	<u>152</u>	89	1.59	<u>151</u>	92	1.52	150	95	1.45	149	99	1.35	147	<u>101</u>				
	2.00										1.50	<u>158</u>	<u>104</u>							
8	Normal	1.34	106	61	1.26	105	65	1.16	103	67	1.01	95	67							
	0.25	1.49	127	74	1.41	126	77	1.34	125	81	1.25	124	84	1.14	120	86	1.09	124	92	
	0.50	1.53	133	78	1.46	132	81	1.38	132	85	1.30	131	88	1.21	129	91	1.17	134	98	
	1.00	1.58	140	82	1.51	140	86	1.44	139	89	1.36	138	92	1.27	137	96	1.25	144	<u>104</u>	
	2.00	1.62	148	87	1.55	147	90	1.49	147	94	1.41	146	97	1.34	145	<u>101</u>				
24	Normal	1.26	95	54	1.18	95	59	1.09	95	63	1.00	95	67							
	0.25	1.39	113	66	1.32	113	69	1.24	113	73	1.16	113	77	1.08	113	82	1.04	119	89	
	0.50	1.44	119	69	1.37	119	73	1.29	119	77	1.21	119	81	1.13	118	85	1.09	125	93	
	1.00	1.48	126	73	1.41	126	77	1.34	126	81	1.27	126	85	1.18	125	89	1.16	132	97	
	2.00	1.53	132	77	1.46	133	82	1.39	133	85	1.31	132	89	1.23	132	93	1.21	139	<u>101</u>	
4.00	1.58	140	82	1.51	140	86	1.44	140	89	1.37	139	93	1.29	139	97	1.21	139			

NOTE: Underlined values, though beyond recommended limits (see 5.2.2.4), are given to assist in interpolation of the maximum limit. % loss of life is in addition to normal loss of life.

\*Actual water temperature should be 5 °C lower than the ambient temperatures shown above (see 3.5), and must be above zero °C.

TRANSFORMERS UP TO 100 MVA WITH 55 °C OR 65 °C AVERAGE WINDING RISE

ANSI/IEEE  
C57.92-1981

### 6.3.- PÉRDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

- 1.- PÉRDIDAS EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO (Devanados)
  - a.)  $I^2R$  - Corriente de Carga.
  - b.)  $I^2R$  - Corriente de Excitación.
  - c.) Corrientes de Eddy - Flujos Dispersos.
  
- 2.- PERDIDAS EN EL CIRCUITO MAGNÉTICO (Núcleo)
  - a.) Histéresis en las Laminaciones.
  - b.) Corrientes de Eddy en las Laminaciones.
  - c.) Corrientes de Eddy en Tornillos y Placas de Sujeción.
  
- 3.- PERDIDAS EN EL CIRCUITO DIELECTRICO. (Aislamientos)
  
- 4.- PERDIDAS EN EL SISTEMA MECANICO (Tanque y Estructuras)

#### AGRUPACION DE PERDIDAS MEDIBLES EN EL TRANSFORMADOR

##### A.\* PERDIDAS SIN CARGA

- 1.-  $I^2R$  - Corriente de Excitación.
- 2.- Histéresis en las Laminaciones
- 3.- Corrientes de Eddy en las Laminaciones.
- 4.- Corrientes de Eddy en Tornillos y Placas de Sujecion.
- 5.- Pérdidas en el Circuito Dieléctrico.

##### B.\* PERDIDAS CON CARGA

- 1.-  $I^2R$  - Corriente de Carga.
- 2.- Corrientes de Eddy - Flujos Dispersos
- 3.- Pérdidas en el Sistema Mecánico.

1.-  $I^2R$  - Corriente de Carga

$$\sum_{i=1}^n I_i^2 R_i$$

$i = 1, \dots, n$

$n =$  Número de devanados.

2.- Corrientes de Eddy - Flujos Dispersos.

- a.) Conductores
- b.) Núcleo
- c.) Estructura del Núcleo
- d.) Tanque
- e.) Guías.

Pérdidas de Eddy en el PASADO

Flujo Disperso - Paralelo a las Bobinas

Devanados	{	$P_e \propto B^2$	donde:
		$P_e \propto \text{Cobre Total}$	
		$P_e \propto d^2$	

$d =$  dimension normal al flujo disperso.

Estructuras y Tanque	{	Empíricas - Pruebas.
----------------------------	---	----------------------

ACTUAEMENTE para estas Pérdidas se considera:

1.- Geometría del Flujo Disperso

- . Mapeos del Flujo Disperso
- . Representación Seccional del Flujo Disperso.



## 2.- Modelo Matemático

- Mapeos de Flujo Disperso
- Trayectorias Físicas
- Fuentes de las Pérdidas
- ESTIMADOR para el futuro.

$$L_{E+S} = a_1 L_1 + a_2 L_2 + a_3 L_3 + a_4 L_4 + a_5 L_5 + a_6 L_6$$

$L_{E+S}$  = Pérdidas de Eddy y de Fuga.

$L_1$  = Estimado de Pérdidas en el Tanque y Estructuras

$L_2$  = Estimado de Pérdidas en el Núcleo

$L_3$  = Estimado de Pérdidas en cada Conductor -  $B_{Horz.}$  (Perpendicular a la Bobina)

$L_4$  = Estimado de Pérdidas en cada conductor -  $B_{Vert.}$  (Paralelo a la Bobina)

$L_5$  = Estimado de Pérdidas entre Conductores -  $B_{Horz.}$

$L_6$  = Estimado de Pérdidas entre Conductores -  $B_{Vert.}$

$a_1, \dots, a_6$  = Coeficientes Estadísticos para mejorar los Estimados

- 1.- Error de Medición
- 2.- Fuentes de Pérdidas
- 3.- Distribución Aprox. Flujo Disperso.

Futuro del Modelo:

- a.) Mejorar Mediciones
- b.) Mejor conocimiento del Tanque
- c.) Incluir otras fuentes
- d.) Flujo de Dispersión en Tres Dimensiones.

6.4-

TEMPERATURA Y VIDA DEL TRANSFORMADOR

PÉRDIDAS

81

CALOR

DISIPACIÓN AL EXTERIOR

ENFRIAMIENTO:

OA  
FA  
FOA  
OW  
FOW

GRADIENTES DE TEMPERATURA

PUNTO MÁS CALIENTE DE LOS DEVANADOS (Hot-Spot)

VIDA DEL AISLAMIENTO

VIDA DEL TRANSFORMADOR

INERCIA TÉRMICA

SOBRE CARGA DEL TRANSFORMADOR.

PARAMETROS DE DISEÑO.

- \*\* Deterioro Mecánico y Dieléctrico del Aislamiento.
- \*\* Distribución de Temperaturas y Punto más Caliente de los Devanados.
- \*\* Envejecimiento Térmico.
- \*\* Fin de la Vida del Aislamiento  $\approx 1/2$ (Resistencia a la Tension)

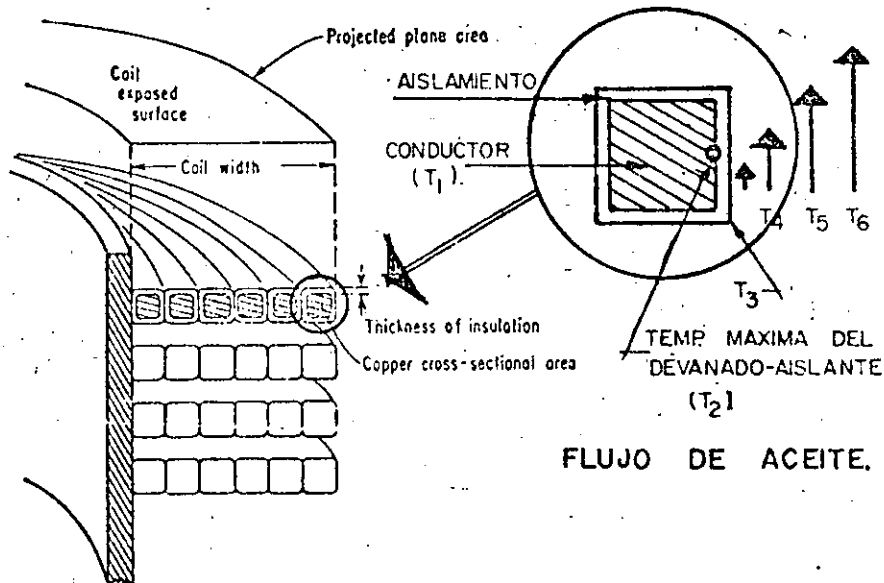
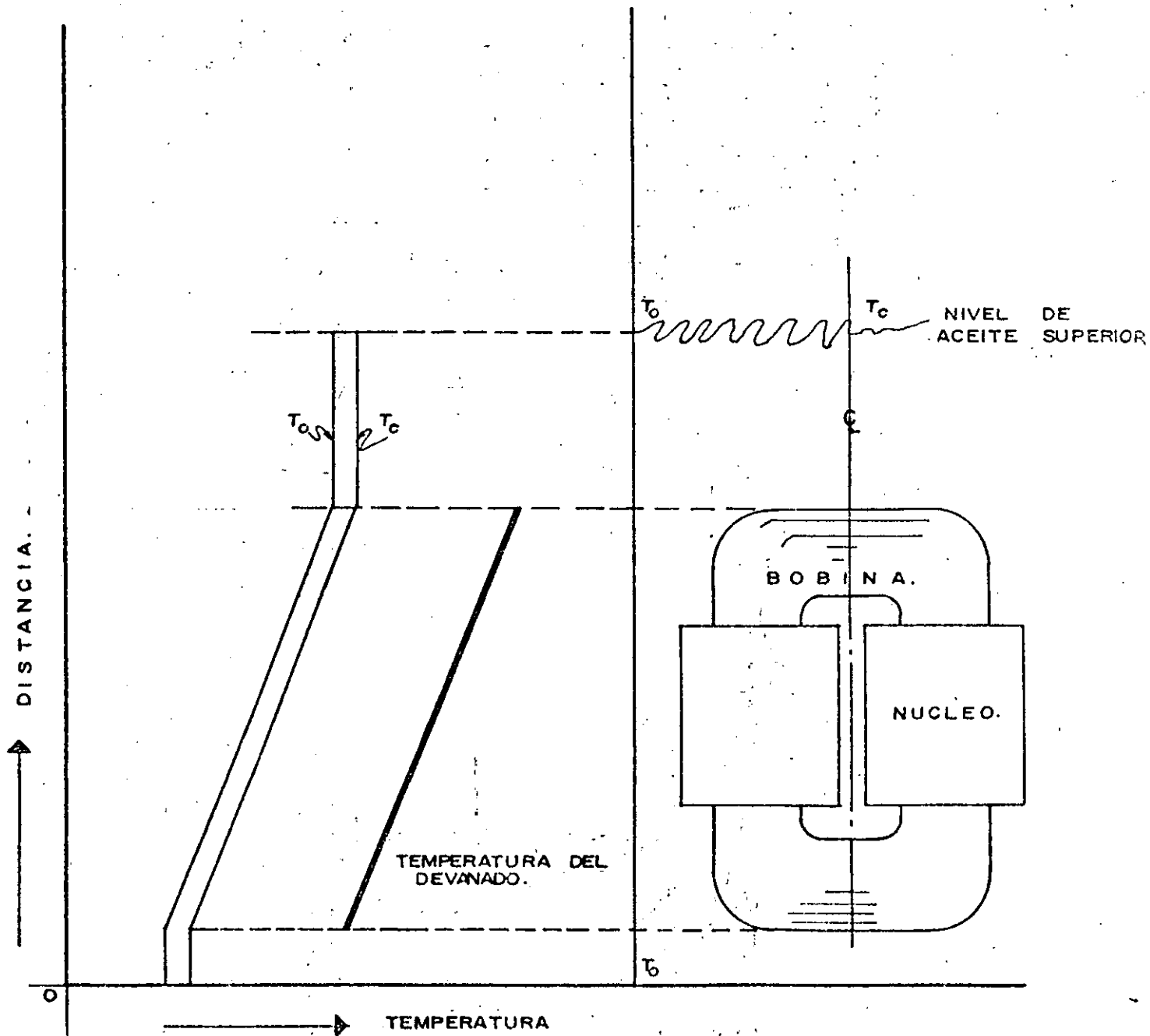
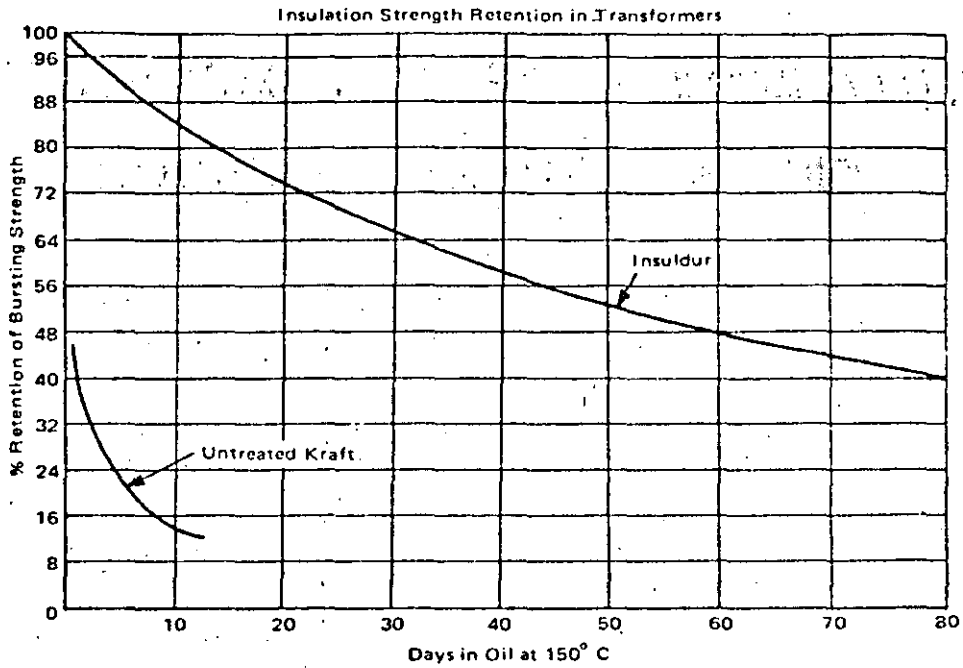


FIG. 8-1. Heat flow paths from pancake coils immersed in oil.

# VARIACION DE TEMPERATURA EN EL TRANSFORMADOR.



Insuldur Insulation System



64

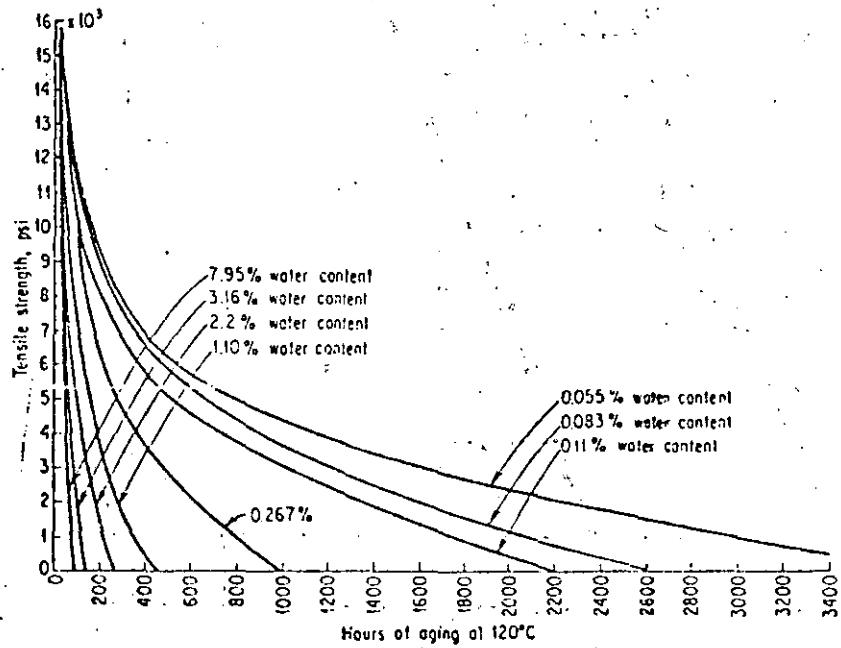


FIG. 9-2. Effect of moisture content on mechanical life of oil-impregnated and oil-immersed 0.003-in. manila insulating paper aged at 120°C in a sealed glass container, oil surface being in contact with nitrogen gas.

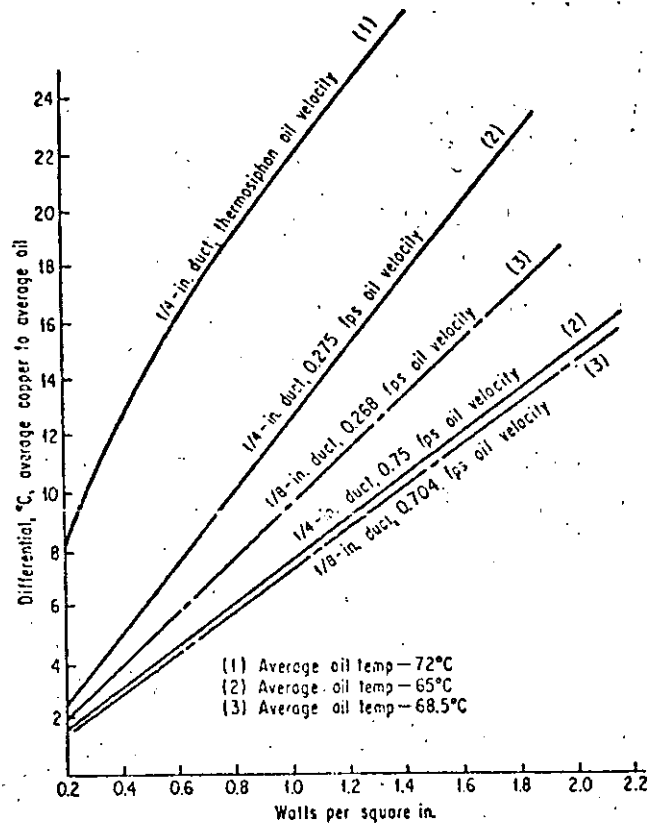


FIG. 8-2. Convection of heat from coil immersed in oil -- thermosiphon oil velocity and forced flow.

Temperatura del Punto mas Caliente  
de los Devanados

66

(Hot-Spot) Ohs

$$\theta_{hs} = \theta_a + \theta_o + \theta_g.$$

donde:

$\theta_a$  = Temp. ambiente, °C.

$\theta_o$  = Elevación de Temp. sobre  $\theta_a$   
del aceite superior, °C.

$\theta_g$  = Elevación de Temp. sobre  $\theta_o$   
del Punto más caliente del  
Devanado (Hot-Spot), °C.

Gradiente de Temp. Final  
del Aceite superior.  $\theta_u$

$$\theta_u = \theta_{f1} \left[ \frac{K^2 R + 1}{R+1} \right]^n$$

donde:

$\theta_{f1}$  = Elevación temp. aceite sup. a  
plena carga, °C. (Prueba de temperatura)

K = Carga Interes / Carga Nominal

R = Pérdidas con carga / Pérdidas sin carga

n = 0.8      OA, OW, OA/FA

n = 1.0      FOA, FOW, OA/FA/FA.

Temperaturas durante Transitorios.

87

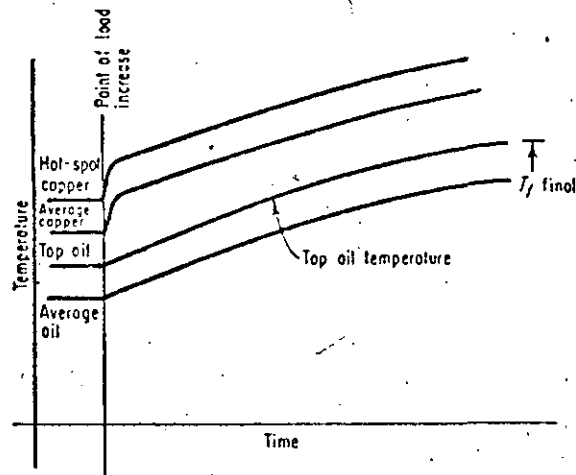


FIG. 8-8. Copper and oil temperatures following an increase in load.

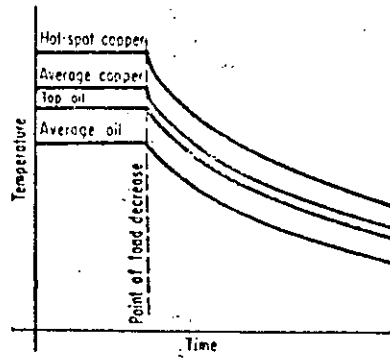


FIG. 8-9. Copper and oil temperatures following a decrease in load.



## Cálculo de Temperatura durante

Transitorios

38

 $\theta_o$ , Elev. Temp. Aceite Sup.

$$A.- \theta_o = \theta_i + (\theta_u - \theta_i) (1 - e^{-t/T})$$

donde:

 $\theta_i$  = Elev. Temp. Aceite Sup. Inicial $\theta_u$  = Elev. Temp. Aceite Sup. Final-Nueva Carga

e = Base Logaritmas Neperianos.

t = Duración del cambio de carga, hrs.

T = Constante de tiempo

$$T = C \frac{(\theta_u - \theta_i)}{P}, \text{ hrs.}$$

C = Capacidad térmica del Transformador,  
watt-hr/ °C

P = Cambio de Pérdidas-Nueva Carga, watts.

n = 0.8

C = 0.06 (Peso Núcleo-Bobinas) + 0.04 (Peso.Tanque)  
+ 1.33 (Galones de Aceite).

n = 1.0

C = 0.06 (Peso Núcleo-Bobinas-Tanque) + 1.93 (Galones  
Aceite)

$$B.- \theta_o = \theta_i + (\theta_m - \theta_i) e^{-t/T}$$

donde:

$\theta_m$  = Elev. Temp. Máxima Aceite Sup.  
cuando la carga es removida.

ELEVACION DE TEMPERATURA

Del

87

Punto más Caliente del

Devanado  $\theta_g$ .

A.-

- a.) Temp. promedio del Devanado.
- b.) Elevación temp. sobre temp. Aceite Sup.
- c.) Número Arbitrario.

15°C para 65°C

10°C para 55°C

$$\theta_g (f1) = (\theta_w - \theta_o) + 15$$

donde:

$\theta_w$  = Elev. Temp. promedio del Devanado sobre  
Temp. Amb.

B.- Cambio respecto a la carga

$$\theta_g = \theta_{gf1} \quad K^{2m}$$

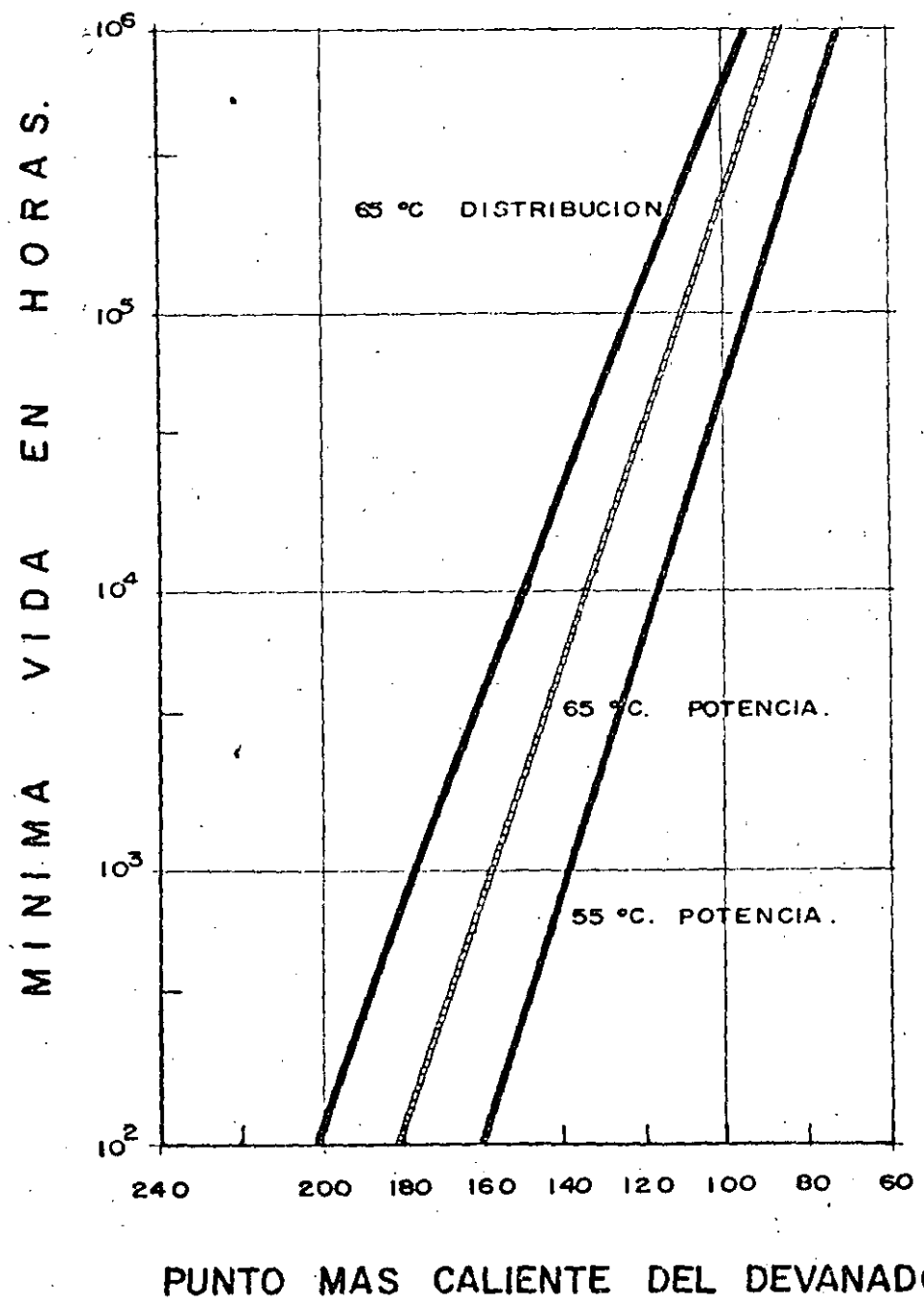
$m = 0.8$       OA, FA, OA/FA

$m = 1.0$       FOA, FOW, OA/FOA, OA/FA/FA

VIDA DEL AISLAMIENTO = VIDA DEL TRANSFORMADOR

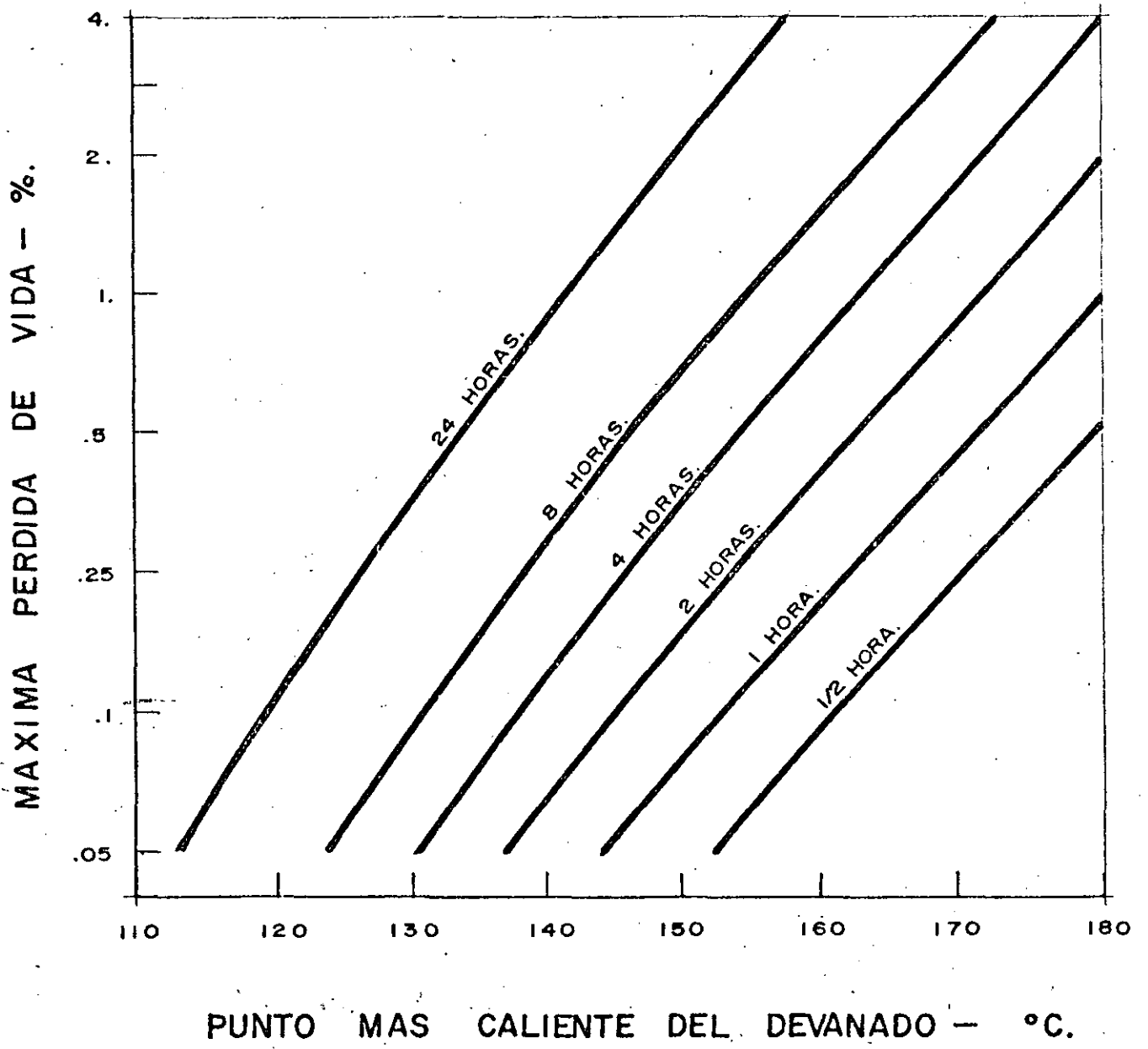
90

VIDA ESPERADA. 90



MAXIMA PERDIDA DE VIDA.  
TRANSFORMADORES 65°C ELEVACION.

91



SOBRE CARGA DE LOS TRANSFORMADORES

## LIMITACIONES:

Capacidad de los Devanados  
Capacidad del Enfriamiento

Tanque de Expansion.

Boquillas.

Guias.

Cambiadores.

Flujos Dispersos.

## EXPERIENCIAS:

Temp. Promedio, etc.  
Carga Ciclica

NUEVAS CONSIDERACIONES

- 1.- Programas de Diseño mas Precisos
- 2.- Mejores Especificaciones
- 3.- Gradiente de Temperatura en Nuevas Bases

$$\theta_{cu \text{ promedio}} = f(\text{Temp. promedio})$$

4.- IEC Publicación 354.1972

" Guía de Carga de Transformadores" 73.

$$\theta_{hs} = \theta_a + \theta_o + 1.1 ( \theta_w - \theta_{ao} )$$

$$\theta_{ac} = \text{ELEV. DE TEMP. PROMEDIO, } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_g = 1.1 ( \theta_w - \theta_{ao} ) K^{2m}$$

$$m = 0.8$$

$$m = 0.1$$

7.- MANTENIMIENTO, DETECCION Y PROTECCION DE FALLAS EN  
TRANSFORMADORES.

94

94

Aparte de ser una gran inversión, es esencial para la continuidad del servicio en el sistema eléctrico, los transformadores pueden ser:

- GENERADORES
- TRANSMISION
- DISTRIBUCION

En general tienen todo un sistema asociado a él, el cual puede llegar a ser cientos de veces más costoso que el mismo transformador.

Debido a esto, es necesario tener el transformador en condiciones óptimas de operación y servicio.

Por lo tanto, es conveniente prevenir el transformador contra condiciones que -- puedan causar contingencias, éstas son entre otras:

- MAL TRANSPORTE
- MALA INSTALACION
- MALA OPERACION
- MAL MANTENIMIENTO

Y lograr con esto, mantenerlo en condiciones de servicio continuo.

-Un Mal Transporte se previene conservando las indicaciones de embarque las cuales consisten principalmente de: 95

- GALIBOS
- TIPOS DE SUJECION
- TIPO DE MANEJO
- TIPO DE EMBARQUE
- INDICACIONES DEL FABRICANTE



-Una Mala instalación se previene siguiendo lo más apegado posible, lo siguiente:

96

- PROYECTO INICIAL DE INSTALACION
- INDICACIONES DEL FABRICANTE
- VERIFICACION DE CARACTERISTICAS DE ALTITUD DE OPERACION CON LAS DE INSTALACION.

-Una Mala Operación se previene **calibrando** los accesorios de control y operación del transformador, de acuerdo a la especificación original -- con la que fue concebido el proyecto, ya que en función de esto, se establece una especificación de diseño, para satisfacer la necesidad principal. Cualquier operación fuera de lo especificado, causa alteraciones que en la mayoría de los casos resulta en la reducción de la vida útil de los transformadores.

Las Malas Operaciones pueden ser:

- SOBRECARGA ARRIBA DE LO ESPECIFICADO
- SOBRE VOLTAJE FUERA DE ESPECIFICACION
- CAMBIOS DE TAPS FUERA DE ORDEN
- OPERACION INADECUADA DE INTERRUPTORES

-En la Instalación del Transformador, se debe tomar en cuenta que se está aplicando el primer Mantenimiento al mismo, el cual se considera como Mantenimiento Preventivo, en el cual se está verificando construcción, ensamble y operación, esto en algunos casos puede ser el único Mantenimiento que se le dará al transformador, ya que los subsecuentes dependerán de:

#### COSTO DEL TRANSFORMADOR CONTRA COSTO DEL MANTENIMIENTO.

Si Costo del Transformador  $<$  Costo del Mantenimiento, entonces el Mantenimiento no se justifica económicamente. Si Costo del Transformador  $>$  Costo de Mantenimiento, entonces el Mantenimiento es justificado económicamente, el proceso de Evaluación de Mantenimiento en algunos casos, puede ser lento y difícil por los períodos en los que se debe efectuar y por los registros precisos que se deben llevar.

Sin embargo se puede recomendar lo siguiente:

- MANTENIMIENTO -

Antes de aplicar cualquier tipo de mantenimiento, se debe verificar: 77

- COSTO DE TRANSFORMADOR VS. COSTO MANTENIMIENTO  
SI COSTO DE TRANSFORMADOR < COSTO DE MANTENIMIENTO  
TO.
- MANTENIMIENTO NO SE JUSTIFICA  
SI COSTO DE TRANSFORMADOR > COSTO DE MANTENIMIENTO  
TO.
- MANTENIMIENTO JUSTIFICADO.

-El procedimiento de Evaluación de Mantenimiento, es un tanto difícil y en algunos casos lleva varios años.

Los puntos más importantes para la aplicación de Mantenimiento:

-PINTURA

-EQUIPO AUXILIAR

-PRESERVACION DE ACEITE.

-HUMEDAD (RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE,  
ABSORCION EN AISLAMIENTO)

-OXIGENO

-ELEMENTOS CATALITICOS

-TEMPERATURA

El resultado de la acción de éstos agentes:

-ACIDOS

-LIDOS

Los valores límite son:

-RIGIDEZ DIELECTRICA MAYOR DE 22 KV/CM.

-CONTENIDO DE HUMEDAD MAYOR DE 80 P.P.M.

-ACIDEZ MENOS DE 0.2 MG.

La preservación consiste en mantener separados el Aceite y Oxígeno y Humedad.

La forma de lograrlo es:

101

- TANQUE DEL TRANSFORMADOR SELLADO
- TANQUE SELLADO CON PRESION CONTROLADA (Fig. 7.1)
- TANQUE CON TANQUE CONSERVADOR (Fig. 7.2)
- SELLO DE GAS-ACEITE (Fig. 7.3)
- TANQUE CON TANQUE ACONDICIONADOR (Fig. 7.4)

Detección del deterioro del Aceite:

- ACUMULACION DE HUMEDAD Y ACIDOS
- REDUCCION DE RIGIDEZ DIELECTRICA
- FORMACION DE LODOS (VALVULAS DRENE)
- SOBRECARGAS
- ENVEJECIMIENTO POR CALENTAMIENTO
- DETERIORO DEL ACEITE.
- SOBREPRESIONES Y FUGAS POR SOBRE EXPANSION.

Los valores límite de sobrecarga, se dan en la norma, con y sin reducción de la vida útil.

La forma de evitarlos ó prevenirlos son:

- TERMOMETRO

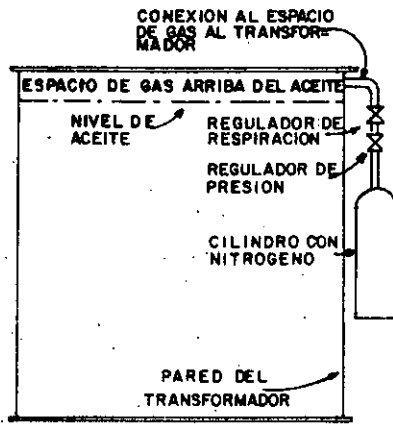


FIG. 7-1

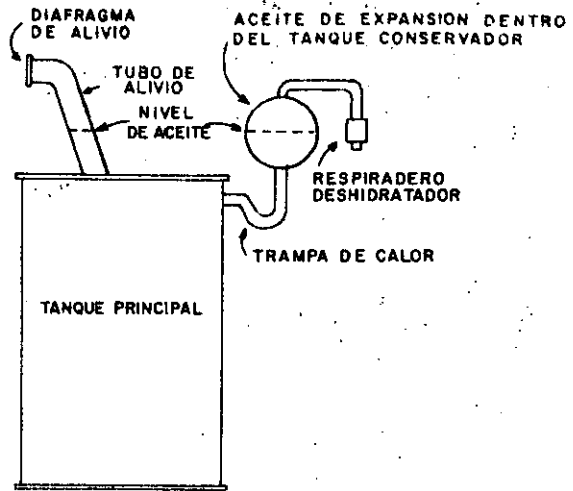


FIG. 7-2

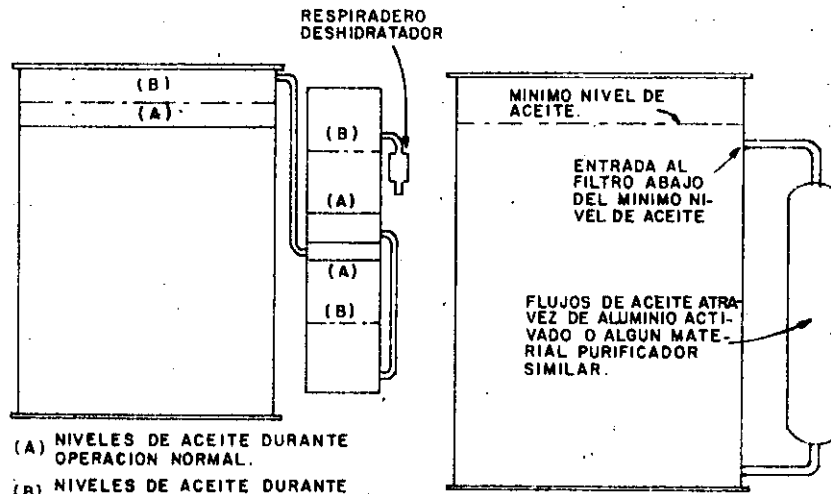


FIG. 7-3

FIG. 7-4

-DETECTOR DEL PUNTO MAS CALIENTE DE LOS DEVA-  
NADOS.

103

-RELEVADOR TERMICO DE SOBRE CARGA.

#### DETECCION DE FALLAS.

Aún cuando se utilizan los accesorios adecuados para la prevención de fallas, los transformadores pueden salir de operación por diferentes contingencias.

Existen dos tipos de fallas en transformadores:

- FALLAS EN EQUIPO AUXILIAR

- FALLAS EN LOS DEVANADOS

#### Equipo Auxiliar:

- ACEITE (INDICADOR DE NIVEL)

- GAS EN LA PARTE SUPERIOR (INERTER)

- BOMBAS (INDICADOR DE FLUJO)

- VENTILADORES (TERMOMAGNETICOS)

#### Devánados :

- FALSOS CONTACTOS (AUMENTO DE RESISTENCIA)  
(AUMENTO DE TEMPERATURA)

- FALLAS ENTRE VUELTAS (RELACION FUERA ESPECIFI-  
CAS.



- ARRASTRES
- FALLAS A TIERRA

Este tipo de fallas producen:

- AUMENTOS DE TEMPERATURA (TERMOMETRO, HOT-SPOT, TRO).
- GASES; (RELE DE GASES)
- AUMENTO DE VOLUMEN POR TEMPERATURA (VALVULAS)
- CARBON (PRUEBAS AL ACEITE O FALLA)

La recomendación es:

- OPERAR EL TRANSFORMADOR DE ACUERDO A LA ESPECIFICACION DEL FABRICANTE Y DE NORMA.
- DAR UN MANTENIMIENTO ADECUADO AL LUGAR DE INSTALACION Y DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE CARGA A QUE SE SOMETE.



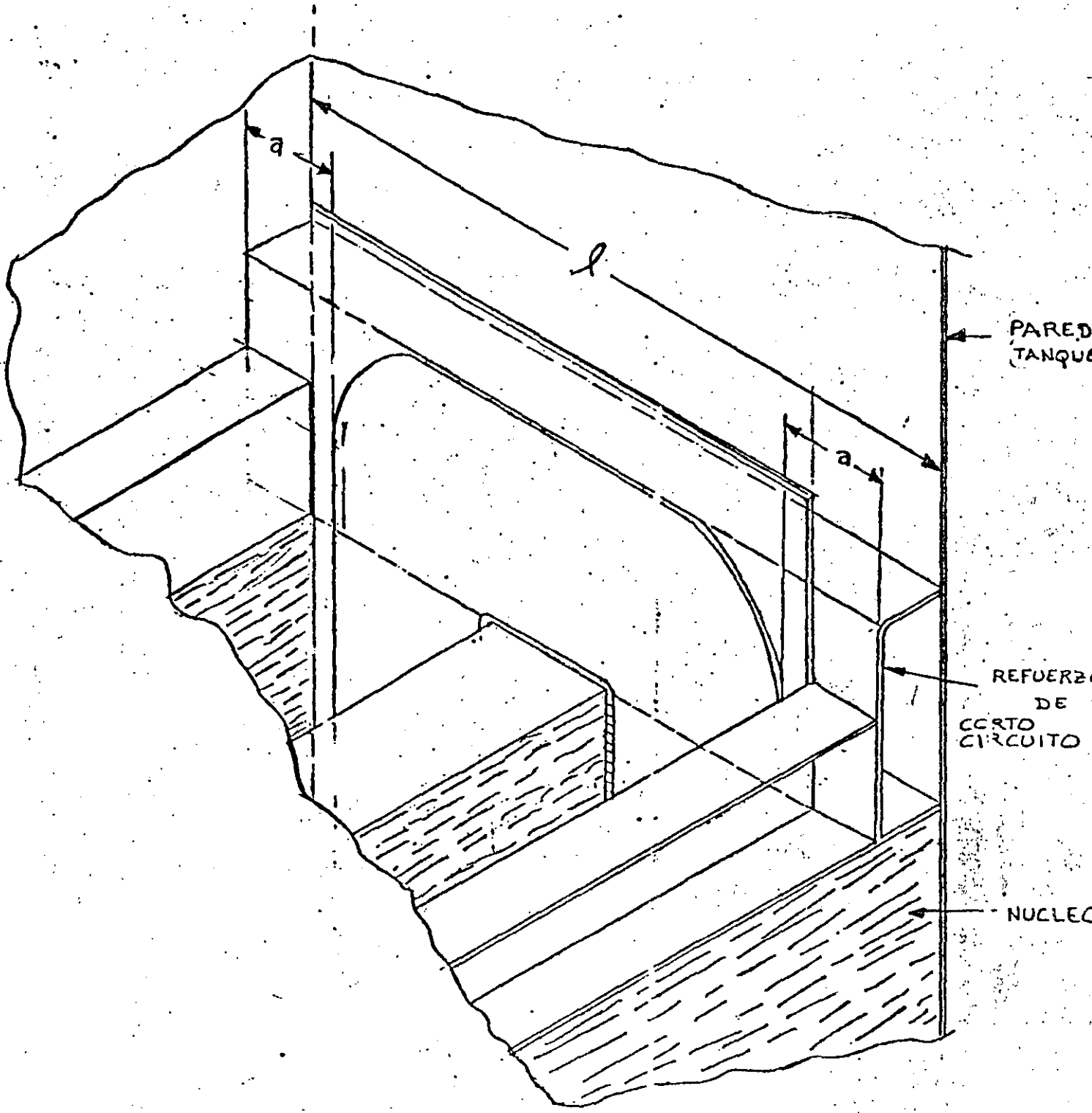
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

TRANSFORMADORES DE POTENCIA  
(COMPLEMENTO)

ING. ARTURO GARCÍA GUERRERO

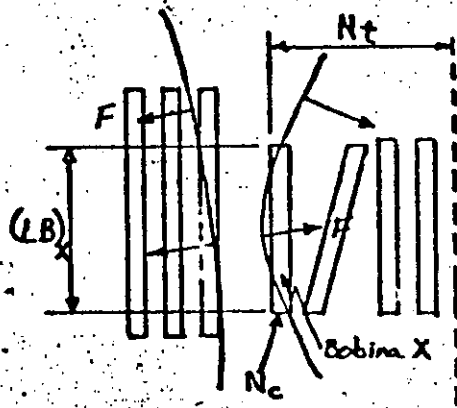
OCTUBRE, 1984.



BASTIDOR INTERIOR PARA CORTO CIRCUITO

Tenemos que para una bobina la densidad de flujo magnético esta dada por: 
$$\beta = \frac{4\pi NI}{10 l} \text{ [Gauss]} \text{-----} \textcircled{1}$$

Donde:  $I$  = valor medio cuadrático de la corriente en la bobina [Amp]  
 $l$  = Ancho de la bobina [cm]



$N_t$  = No. vueltas en el grupo  
 $N_c$  = No. vueltas en la bobina considerada

La densidad de flujo a través de la bobina X depende de:  
 $(NI)_t - (NI)_c$

en la parte media de esta bobina tendremos (vuelta media):

$$(NI)_t - \frac{1}{2} (NI)_c$$

Por lo que para la bobina X tendremos

$$\beta = \frac{4\pi (NI_t - \frac{NI_c}{2})}{10 (LB_{prom}) (2.54)} = \frac{0.495 (NI_t - \frac{NI_c}{2})}{LB_{prom}} \text{ [Gauss]}$$

Donde:  $LB_{prom}$  :: Ancho promedio de la puerca de las bobinas (del grupo) considerado en  $N_t$

Un conductor por el cual circula una corriente  $I$  y que se encuentra en una región donde existe un campo magnético, se halla sometido a la fuerza

$$\vec{F} = I \int \hat{U}_T \times \vec{B} dL, \text{ donde: } \hat{U}_T = \text{vector unitario tangente al eje del conductor}$$

de donde se observa que la fuerza es normal al plano que determinan  $\hat{U}_T$  y  $\vec{B}$

Considerando la fuerza en magnitud solamente, por ser conocida su dirección:

$$F = \frac{BIl}{10} \text{ [dinas]}, \text{ donde } l = \text{longitud del conductor}$$

La fuerza por unidad de longitud de la vuelta media, en  $[\frac{Lb}{pulg}]$  es:

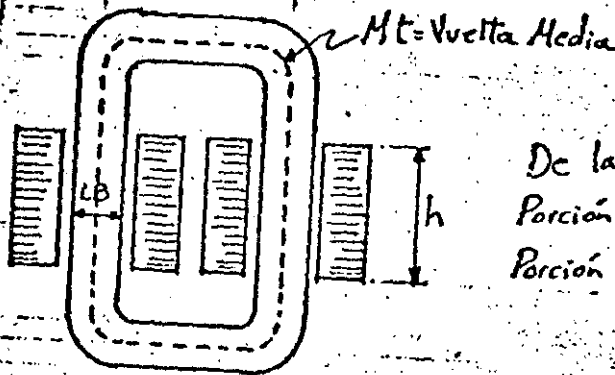
$$\frac{F}{l} = \frac{BI}{10} = \frac{2.82 \times 10^7}{LB_{prom}} (N_t - \frac{N_c}{2}) I \text{ [Lb/pulg]} \text{ ----- (2) (Vuelta media)}$$

multiplicando esta es. por el n° de vueltas de la bobina, obtendremos la fuerza por unidad de longitud sobre el ancho de la pierna de la bobina

$$\left( \text{fuerza uniformemente repartida en el ancho de la pierna de la bobina} \right) = \frac{2.82 \times 10^7}{LB_{prom}} N_c \left( N_t - \frac{N_c}{2} \right) I^2 \text{ [Lb]} \text{ ----- (3)}$$

la fuerza uniformemente repartida en  $LB$  de las bobinas exteriores del grupo será:

$$\frac{F_H}{l} = \frac{2.82 \times 10^7}{K LB_{prom}} N_c \left( N_t - \frac{N_c}{2} \right) I^2 \text{ [Lb]} \text{ ----- (4)}$$



Donde:

$$K = \frac{\text{Intensidad de Campo a través de la bobina } (N_c)}{\text{Intensidad de Campo Promedio en el grupo } (N_t)}$$

De la figura vemos que:

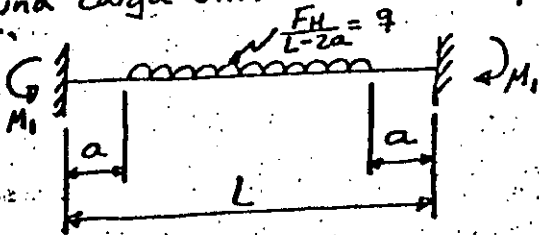
$$\begin{aligned} \text{Porción de bobina fuera del núcleo} &= M_t - 2h \\ \text{Porción de bobina arriba o abajo del núcleo} &= \\ &= \frac{M_t}{2} - h \end{aligned}$$

Fuerza Total sobre el bastidor interior de corto circuito (superior o inferior):

$$F_H = \frac{2.82 \times 10^7}{K LB_{prom}} N_c \left( N_t - \frac{N_c}{2} \right) I^2 \left( \frac{M_t}{2} - h \right) \text{ [Lb]} \text{ ----- (5)}$$

Para calcular el módulo de sección requerida por los refuerzos interiores de corto circuito se utiliza la fuerza calculada por medio de la ec ⑤

Este refuerzo es una viga empotrada en los extremos y sometido a una carga uniformemente repartida en el centro del claro



Resolviendo la viga tenemos  $q$ :

$$M_1 = -\frac{qL^2}{12} + \frac{qa^2}{2} - \frac{qa^3}{3L}$$

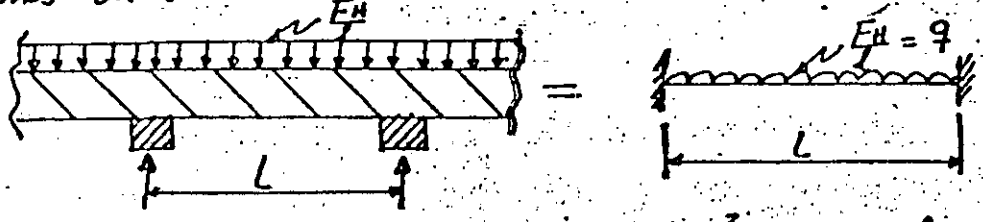
Las dimensiones exteriores del refuerzo son fijas, por lo que solamente podremos variar el espesor para obtener el módulo de sección requerido.

$$S = \frac{M_{\max}}{Z} \Rightarrow Z = \frac{M_{\max}}{S}$$

El esfuerzo que puede soportar el material sin sufrir deformaciones permanentes (Esfuerzo de Cedencia  $S_y$ ) aumenta al disminuir el tiempo de aplicación de la fuerza, por lo que este efecto se debe considerar.

Para obtener el esfuerzo en los conductores que componen la bobina procederemos como sigue:

Consideremos un tramo de una vuelta entre dos espaciadores:



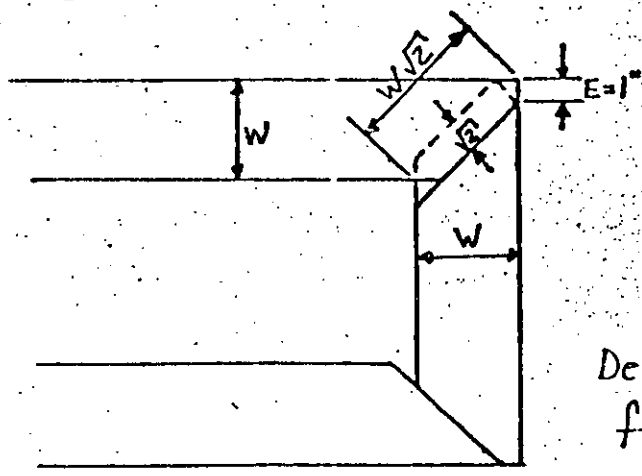
Para una viga con extremos empotrados  $M_{max} = \frac{qL^2}{12}$  y el esfuerzo máximo en ella es  $S = \frac{Mc}{I} = \frac{M_{max}}{Z}$ . El módulo de sección Z para una sección rectangular es:

Eje x-x = Eje de flexión  $Z = \frac{bd^2}{6}$

Por lo que el esfuerzo en la vuelta será:  $S_{max} = \frac{F_H}{l} \left[ \frac{L^2}{Zbc^2} \right] \left( \frac{K}{N_c} \right)$  y siendo "n" el nº de conductores en la vuelta, el esfuerzo en cada conductor será:

$$S = \frac{F_H}{l} \left( \frac{K}{nN_c} \right) \left( \frac{L^2}{2bd^2} \right) \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

Cálculo de la fuerza de fricción en el Núcleo



Sabemos que:  
 $F_f = f N$ , donde:  $F_f$  = fuerza de fricción estática  
 $f$  = coeficiente de fricción estática  
 $N$  = Fuerza Normal

De Pruebas se determinó que:  
 $f = 0.33$  para acero al Si sobre acero al Si lubricado con aceite

El bastidor interior aplica una presión de aproximadamente 40 psi sobre el núcleo, entonces

$$N = (40 \text{ psi}) (\text{Área de traslape en 2 esquinas / pulg de altura de núcl})$$

Area =  $A = \frac{Z(2W-1)}{n(0.014)}$  , cuando:  $E=1''$   
 Espesor de lámina = 0.014''

donde:  $W$  = ancho de lámina  
 $n$  = no° de laminaciones por capa

agrupando las ecs anteriores en una sola:

$f=0.23 = \frac{F_f n (0.014)}{(2W-1)(40psi)(2)}$

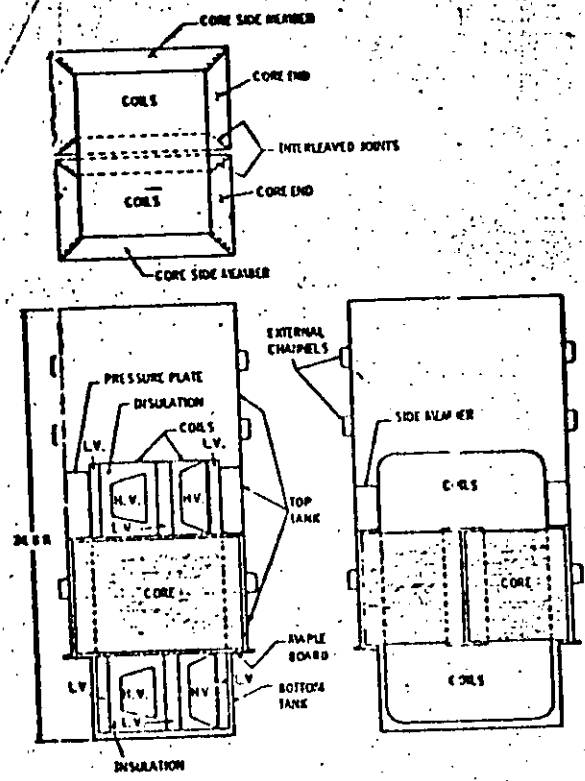
despejando  $n$ :  $n = \frac{1314(2W-1)}{F_f}$  ----- ⑦

$F_f$  debe igualarse a la fuerza obtenida por la ec ④ para obtener  $n$

Cálculo del bastidor interior para Corto Circuito

El bastidor interior tiene dos funciones:

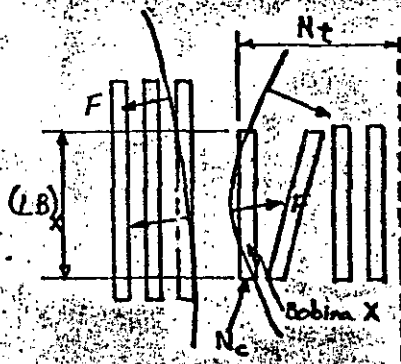
- a) Comprime al núcleo
- b) Equilibra la fuerza ejercida por las bobinas durante un corto ckt.





Tenemos que para una bobina la densidad de flujo magnético está dada por:  $B = \frac{4\pi NI}{10 l}$  [Gauss] ----- ①

Donde:  $I$  = valor medio cuadrático de la corriente en la bobina [Amp]  
 $l$  = Ancho de la bobina [cm]



$N_t$  = No. vueltas en el grupo  
 $N_c$  = No. vueltas en la bobina considerada

La densidad de flujo a través de la bobina X depende de:  
 $(NI)_t - (NI)_c$

en la parte media de esta bobina tendremos (vuelta media)  
 $(NI)_t - \frac{1}{2} (NI)_c$

Por lo que para la bobina X tendremos

$$B = \frac{4\pi (NI_t - \frac{NI_c}{2})}{10 (LB_{prom}) (2.54)} = \frac{0.495}{LB_{prom}} (NI_t - \frac{NI_c}{2}) \text{ [Gauss]}$$

Donde:  $LB_{prom}$  = Ancho promedio de la pierna de las bobinas del grupo considerado en  $N_t$

Un conductor por el cual circula una corriente  $I$  y que se encuentra en una región donde existe un campo magnético, se halla sometido a la fuerza

$$\vec{F} = I \int \hat{U}_T \times \vec{B} dL, \text{ donde: } \hat{U}_T = \text{vector unitario tangente al eje del conductor}$$

de donde se observa que la fuerza es normal al plano que determinan  $\hat{U}_T$  y  $\vec{B}$

Considerando la fuerza en magnitud solamente, por ser conocida su dirección:

$$F = \frac{BIl}{10} \text{ [dinás]}, \text{ donde } l = \text{longitud del conductor}$$

La fuerza por unidad de longitud de la vuelta media, en  $\left[\frac{\text{Lb}}{\text{pulg}}\right]$  es:

$$\frac{F}{l} = \frac{BI}{10} = \frac{2.82 \times 10^{-7}}{LB_{prom}} (N_t - \frac{N_c}{2}) I \left[\frac{\text{Lb}}{\text{pulg}}\right] \text{----- (2) (Vuelta media)}$$

multiplicando esta es. por el no. de vueltas de la bobina, obtendremos la fuerza por unidad de longitud sobre el ancho de la pierna de la bobina

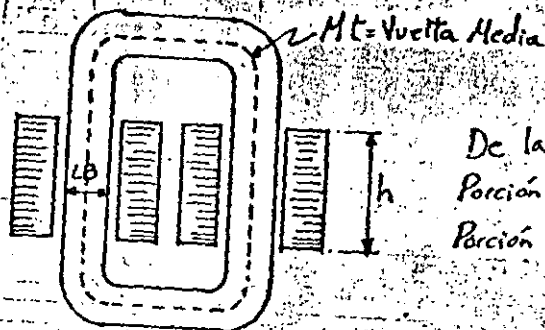
$$\left(\text{fuerza uniformemente repartida en el ancho de la pierna de la bobina}\right) = \frac{2.82 \times 10^{-7}}{LB_{prom}} N_c \left(N_t - \frac{N_c}{2}\right) I^2 \left[\frac{\text{Lb}}{\text{pulg}}\right] \text{----- (3)}$$

la fuerza uniformemente repartida en  $LB$  de las bobinas exteriores del grupo será:

$$\frac{F_H}{l} = \frac{2.82 \times 10^{-7}}{K LB_{prom}} N_c \left(N_t - \frac{N_c}{2}\right) I^2 \left[\frac{\text{Lb}}{\text{pulg}}\right] \text{----- (4)}$$

Donde

$$K = \frac{\text{Intensidad de Campo a través de la bobina } (N_c)}{\text{Intensidad de Campo Promedio en el grupo } (N_t)}$$



De la figura vemos que:

$$\text{Porción de bobina fuera del núcleo} = M_t - 2h$$

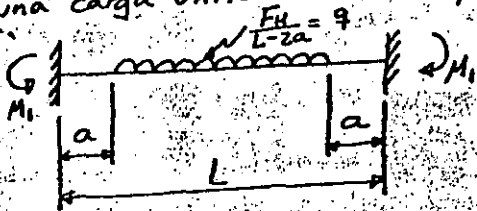
$$\text{Porción de bobina arriba o abajo del núcleo} = \frac{M_t}{2} - h$$

Fuerza Total sobre el bastidor interior de corto circuito (superior o inferior)

$$F_H = \frac{2.82 \times 10^{-7}}{K LB_{prom}} N_c \left(N_t - \frac{N_c}{2}\right) I^2 \left(\frac{M_t}{2} - h\right) [Lb] \text{----- (5)}$$

Para calcular el módulo de sección requerida por los refuerzos interiores de corto circuito se utiliza la fuerza calculada por medio de la ec (5)

Este refuerzo es una viga empotrada en los extremos y sometido a una carga uniformemente repartida en el centro del claro



Resolviendo la viga tenemos  $q'$ :

$$M_1 = -\frac{qL^2}{12} + \frac{qa^2}{2} - \frac{qa^3}{3L}$$

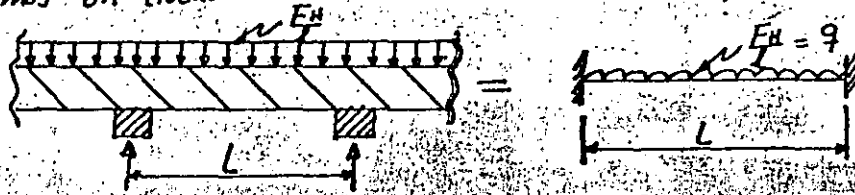
Las dimensiones exteriores del refuerzo son fijas, por lo que solamente podremos variar el espesor para obtener el módulo de sección requerido.

$$S = \frac{M_{\max}}{Z} \Rightarrow Z = \frac{M_{\max}}{S}$$


El esfuerzo que puede soportar el material sin sufrir deformaciones permanentes (Esfuerzo de Cedencia  $S_y$ ) aumenta al disminuir el tiempo de aplicación de la fuerza, por lo que este efecto se debe considerar.

Para obtener el esfuerzo en los conductores que componen la bobina procederemos como sigue:

Consideremos un tramo de una vuelta entre dos espaciadores: 10



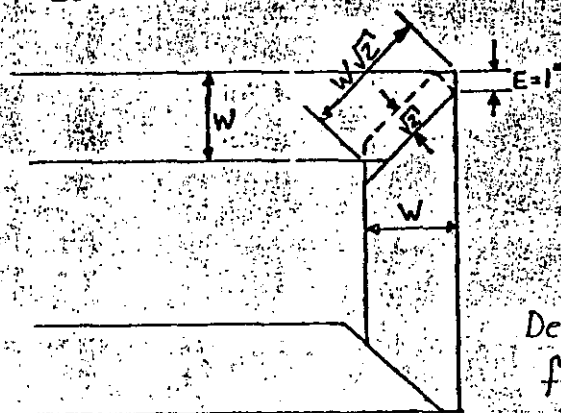
Para una viga con extremos empotrados  $M_{max} = \frac{qL^2}{12}$  y el esfuerzo máximo en ella es  $S = \frac{Mc}{I} = \frac{M_{max}}{Z}$ . El módulo de sección  $Z$  para una sección rectangular es:

Eje x-x = Eje de flexión   $Z = \frac{bd^2}{6}$

Por lo que el esfuerzo en la vuelta será:  $S_{max} = \frac{F_H}{l} \left[ \frac{L^2}{2bd^2} \right] \left( \frac{k}{N_c} \right)$   
 Y siendo "n" el nº de conductores en la vuelta, el esfuerzo en cada conductor será:

$$S = \frac{F_H}{l} \left( \frac{k}{nN_c} \right) \left( \frac{L^2}{2bd^2} \right) \text{--- --- --- (6)}$$

Cálculo de la Fuerza de fricción en el Núcleo



Sabemos que:

$F_f = fN$ , donde:  $F_f$  = fuerza de fricción estática  
 $f$  = coeficiente de fricción estática  
 $N$  = Fuerza Normal

De Pruebas se determinó que:

$f = 0.23$  para acero al Si sobre acero al Si lubricado con aceite

El bastidor interior aplica una presión de aproximadamente 40 psi sobre el núcleo, entonces

$N = (40 \text{ psi}) (\text{Área de traslape en 2 esquinas / pulg de altura de núcl})$

$$\text{Area} = A = \frac{2(2W-1)}{n(0.014)}, \text{ cuando: } E=1'' \text{ Espesor de lámina} = 0.014''$$

donde: W = ancho de lámina  
 n = no. de laminaciones por capa

agrupando las ecs anteriores en una sola:

$$f = 0.23 = \frac{F_f n (0.014)}{(2W-1)(40\text{psi})(2)}$$

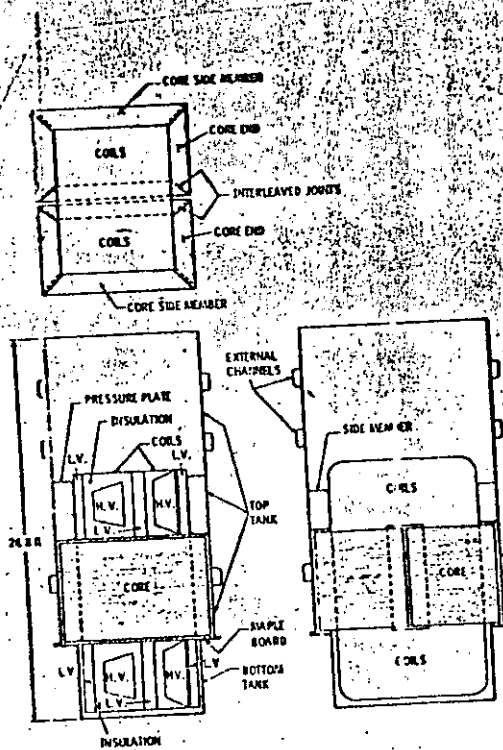
despejando n:  $n = \frac{1314(2W-1)}{F_f} \text{ --- (7)}$

$F_f$  debe igualarse a la fuerza obtenida por la ec (4) para obtener n

**Cálculo del bastidor interior para Corto Circuito**

El bastidor interior tiene dos funciones:

- a) Comprime al núcleo
- b) Equilibra la fuerza ejercida por las bobinas durante un corto ckt.





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

**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO**

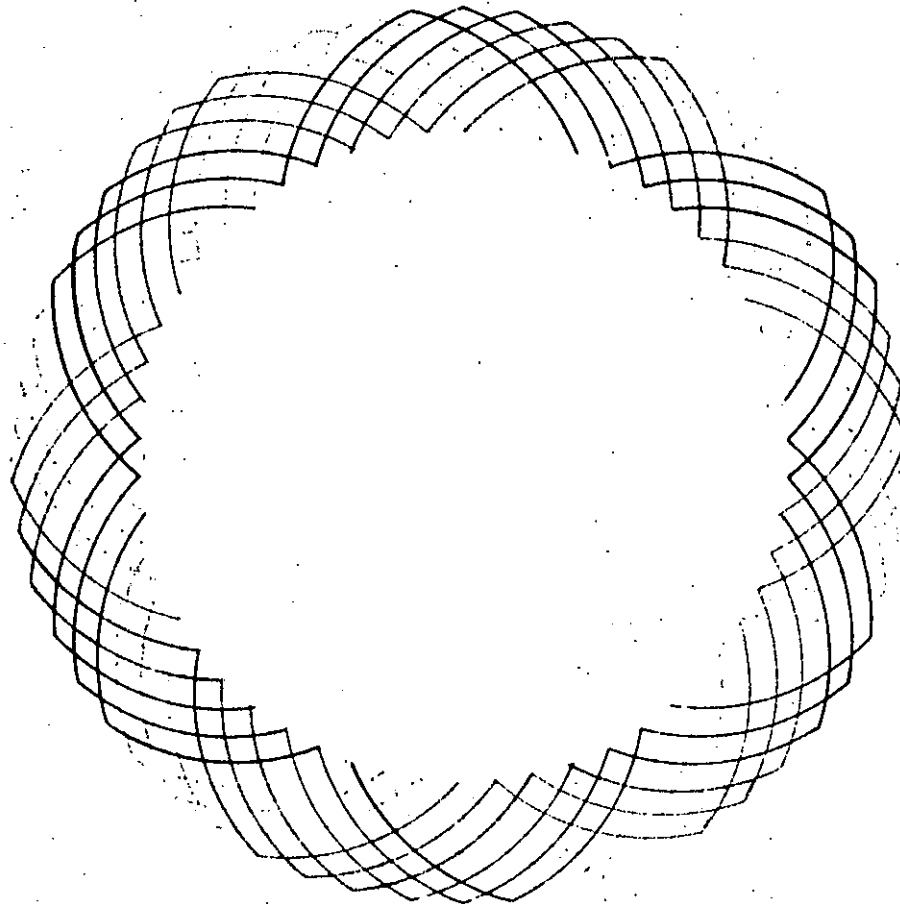
**DISEÑO DE MOTORES DE INDUCCION**

**-COMPLEMENTO-**

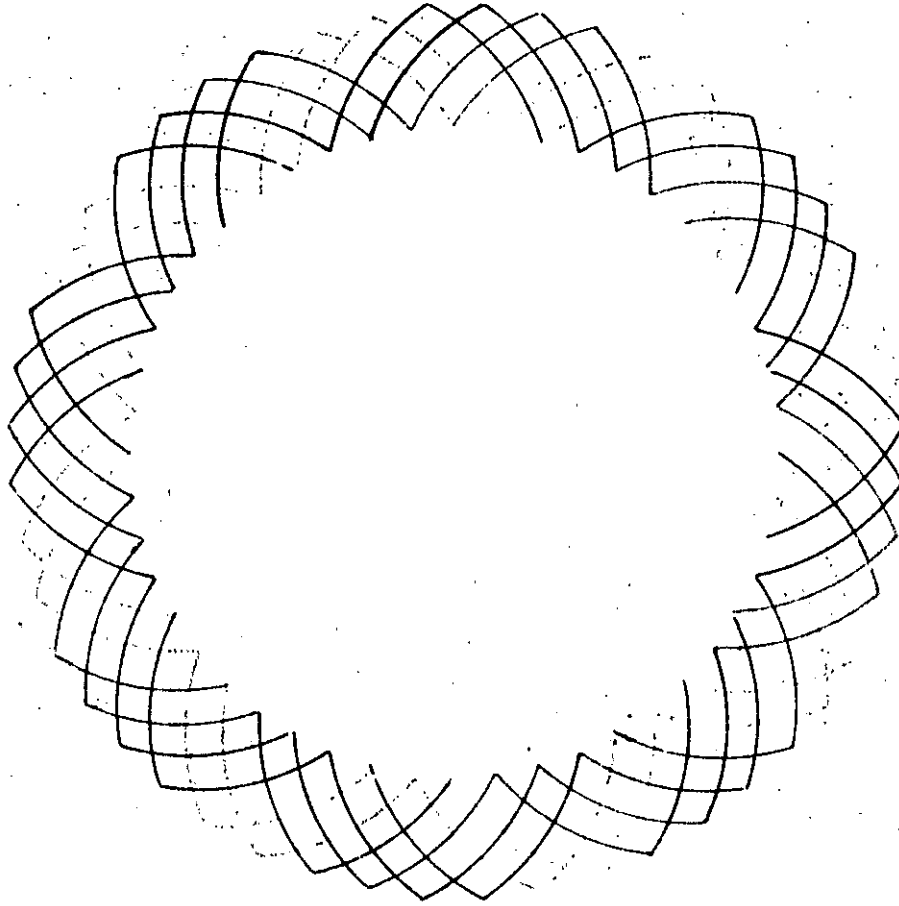
**ING. JOSÉ LUIS FLORES M.**

**OCTUBRE, 1984.**

Devanado regular de un motor tipo Americano, de 3 fases, 6 polos, 54 ranuras, --  
paso de bobinas 8 ranuras, 3 ranuras/polo/fase.



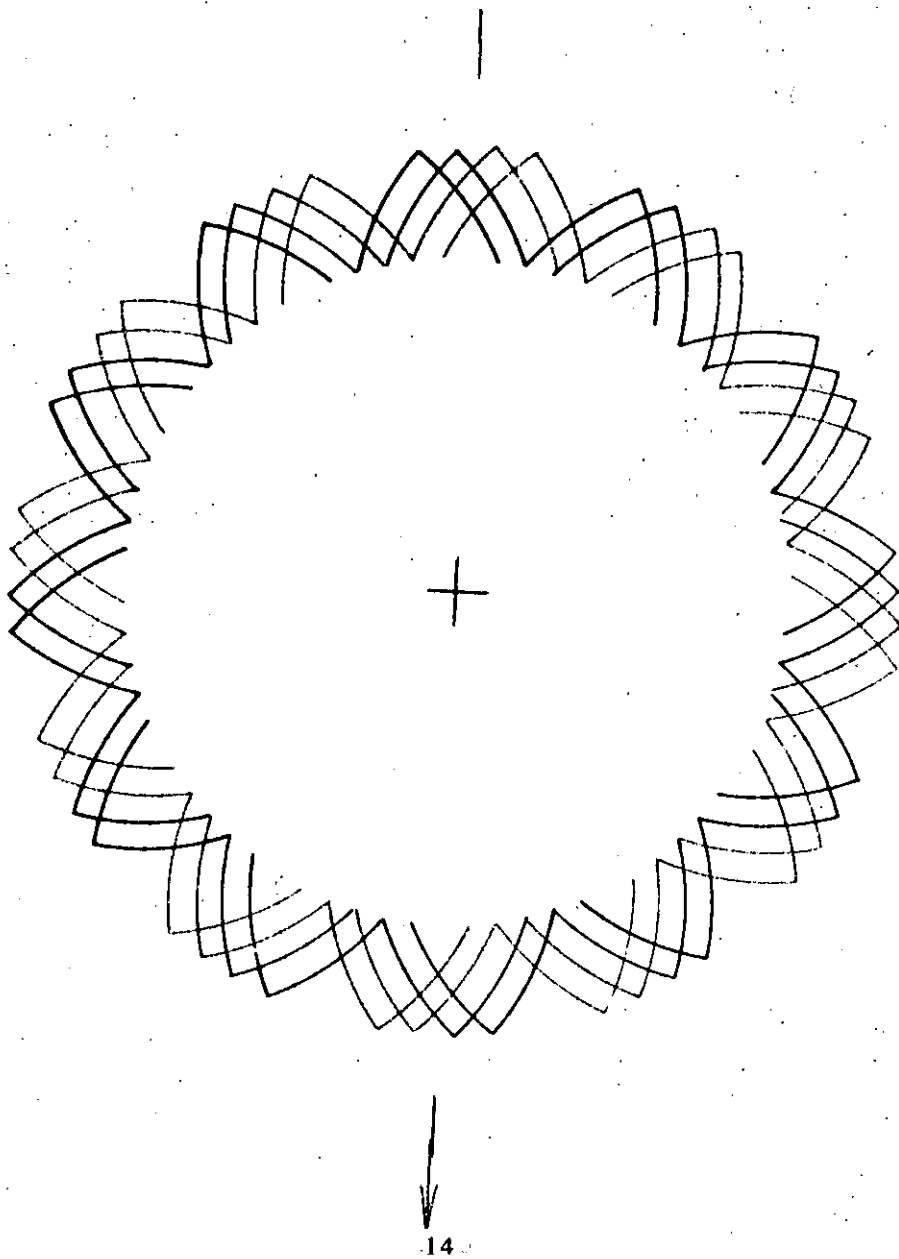
Devanado regular de un motor tipo Americano, de 3 fases, 8 polos 48 ranuras, paso de bobinas 5 ranuras, 2 ranuras/polo/fase.



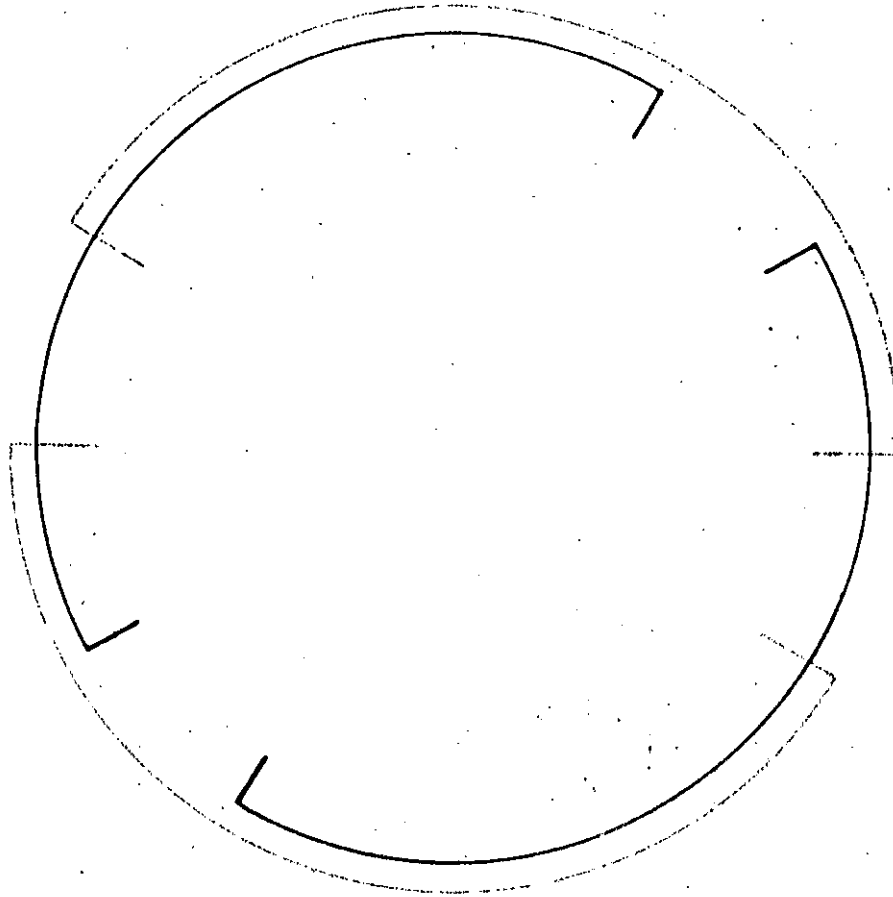


3

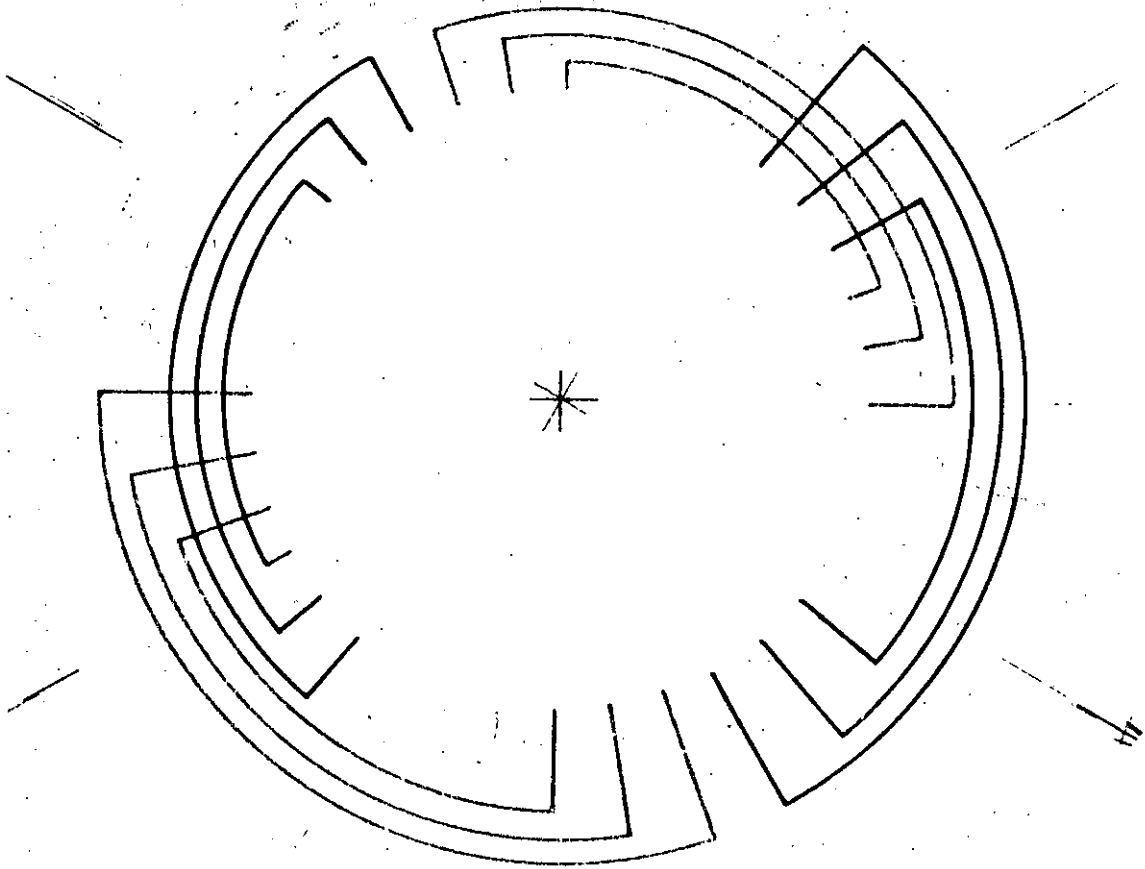
Devanado regular de un motor tipo Americano, de 3 fases, 12 polos 72 ranuras, paso de bobinas 5 ranuras, 2 ranuras/polo/fase.



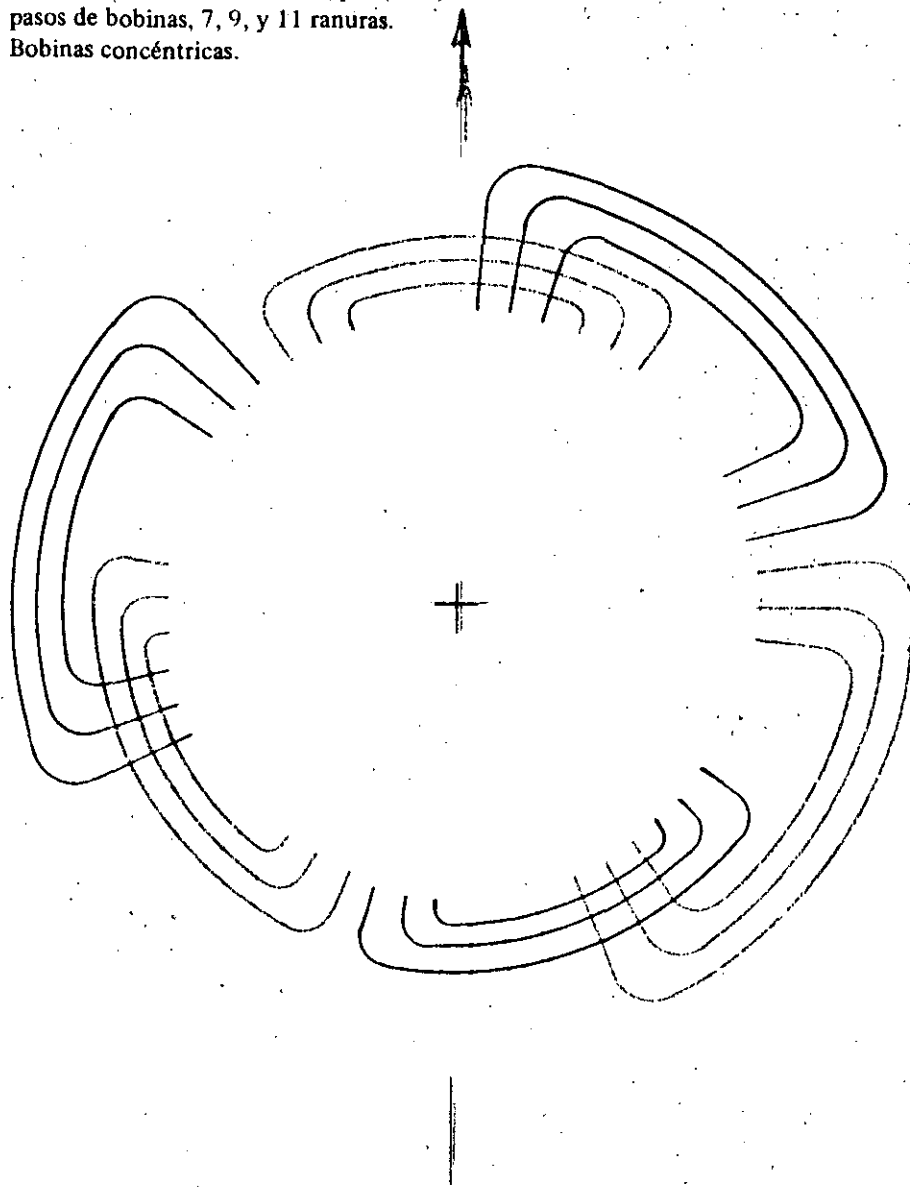
Devanado regular de un motor tipo Europeo, de 3 fases, 2 polos, 12 ranuras, paso de bobinas 5 ranuras, 2 ranuras/polo/fase.



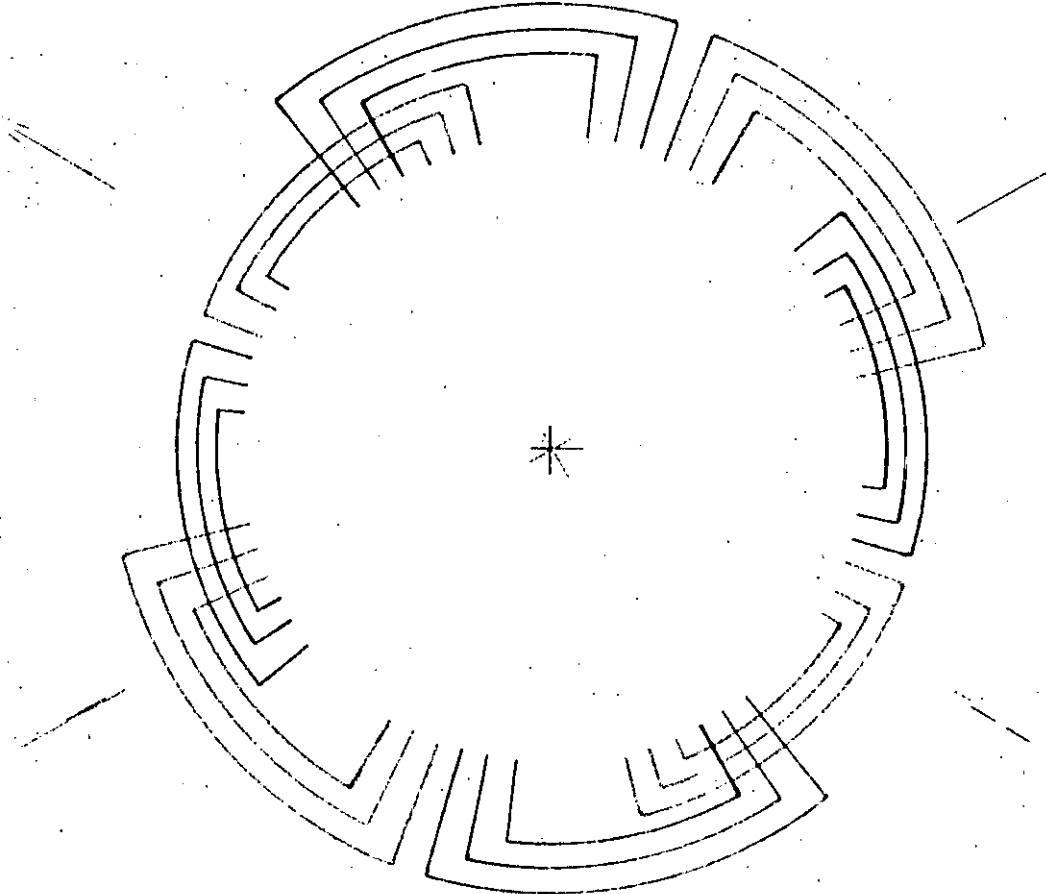
Devanado regular de un motor tipo Europeo, de 3 fases, 4 polos 36 ranuras, paso promedio 9 ranuras, 3 ranuras/polo/fase.  
pasos de bobinas, 7 ranuras, 9 ranuras, y 11 ranuras.  
Bobinas concéntricas.



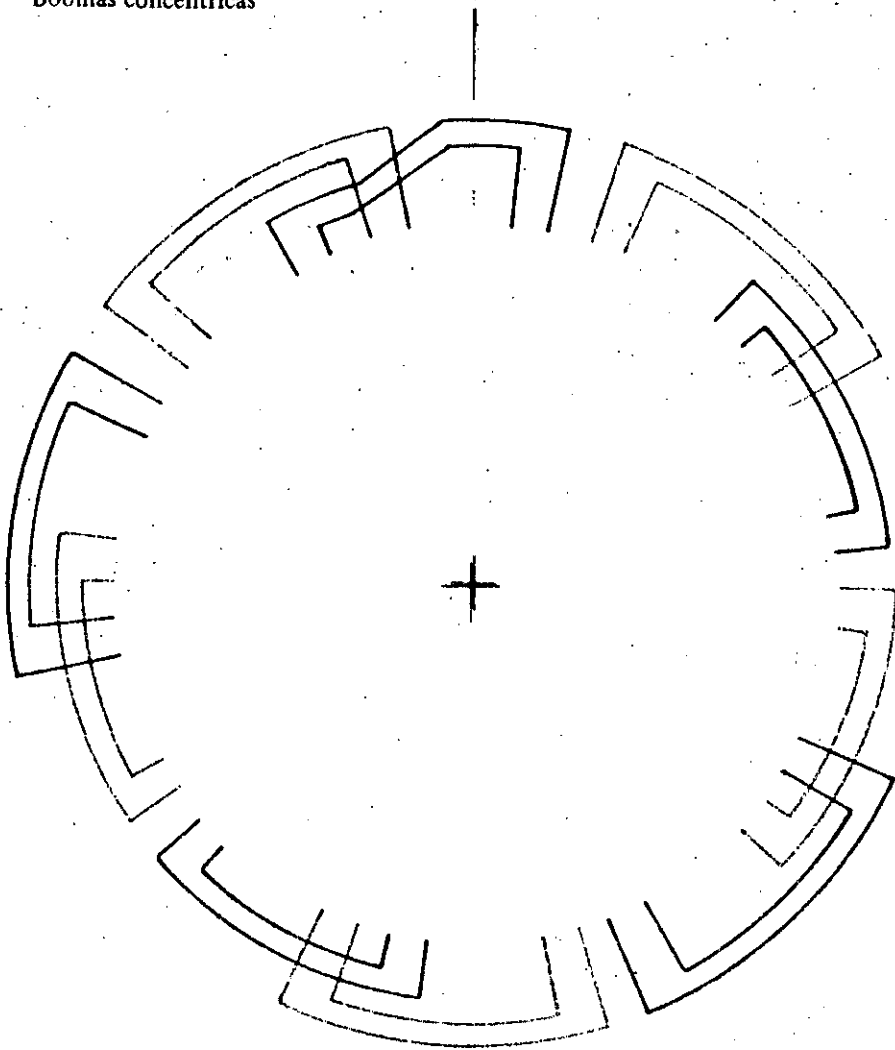
Devanado regular de un motor tipo Europeo, de 3 fases, 6 polos, 54 ranuras, paso promedio 9 ranuras, 3 ranuras/polo/fase, pasos de bobinas, 7, 9, y 11 ranuras. Bobinas concéntricas.



Devanado regular de un motor tipo Europeo, de 3 fases, 8 polos, 72 ranuras, -  
paso promedio 9 ranuras, 3 ranuras/polo/fase, pasos de bobinas 7, 9, y 11 ranuras.  
Bobinas concéntricas.



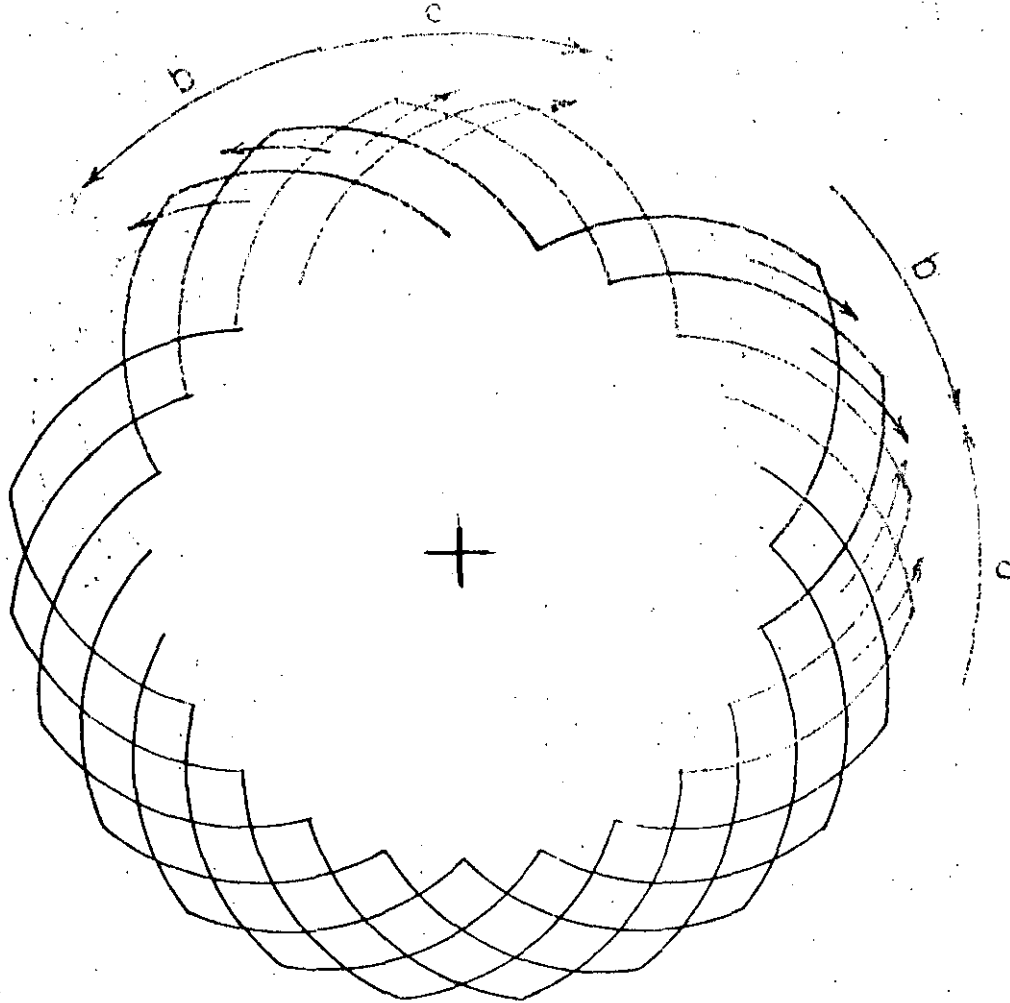
Devanado regular de un motor tipo Europeo, de 3 fases, 10 polos, 60 ranuras, paso promedio 6 ranuras, 2 ranuras/polo/fase, pasos de bobinas 5 y 7 ranuras. - Bobinas concéntricas



### Conexiones de los Motores Trifásicos de Inducción:

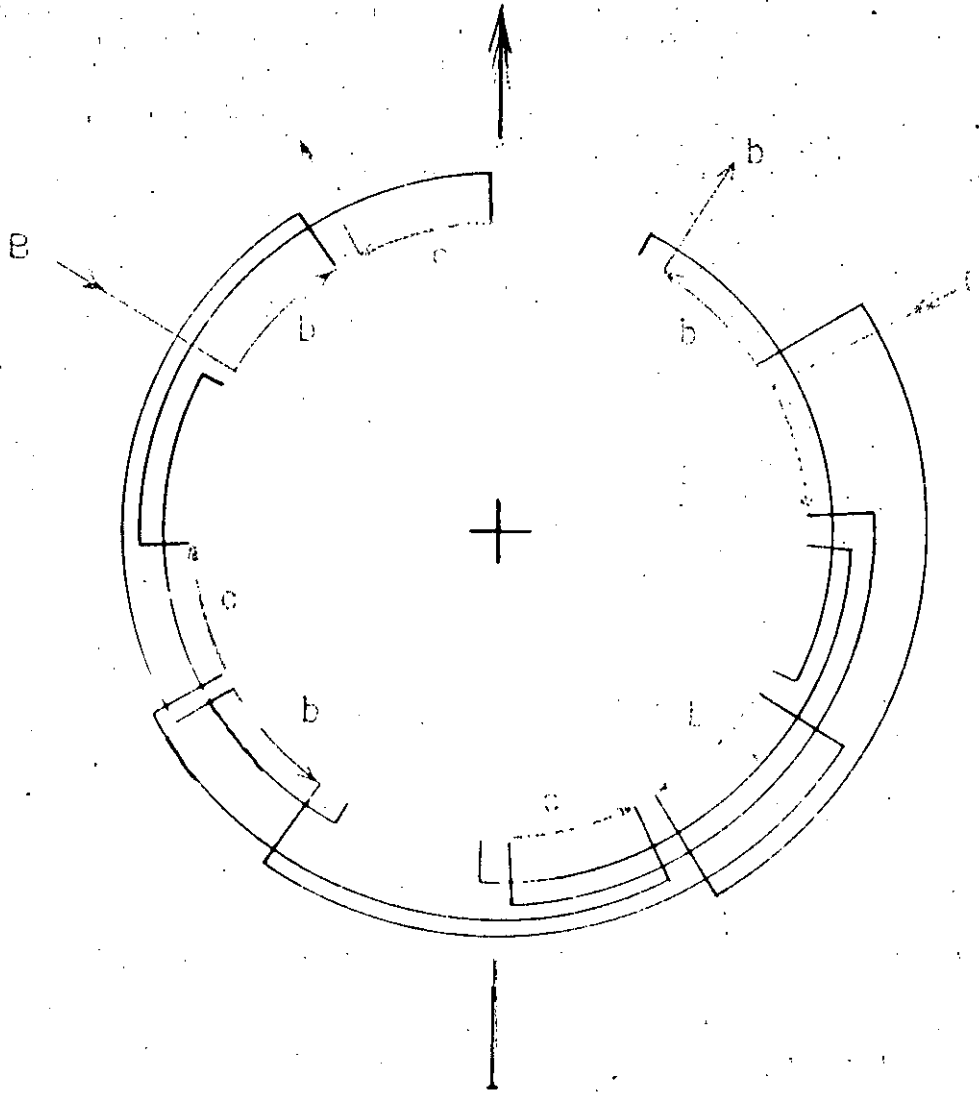
En los diagramas anteriores únicamente se muestra la colocación de las bobinas — en las ranuras, que es lo que realmente se trata de ilustrar; con respecto a la conexión de estos motores se puede decir que es de lo más sencillo, ya sea que se trate de motores Americanos o Europeos.

Para los motores Americanos hay diagramas ilustrativos simplificados al respecto, los cuales están determinados mediante la representación de un grupo de bobinas por un pequeño segmento de línea curva directamente enfrente del grupo de bobinas en sus cabezales, el segmento indicará la dirección de la corriente mediante una flecha, y esta dirección corresponderá a la corriente en los cabezales del grupo de bobinas — detrás del segmento tal como se muestra en la figura.

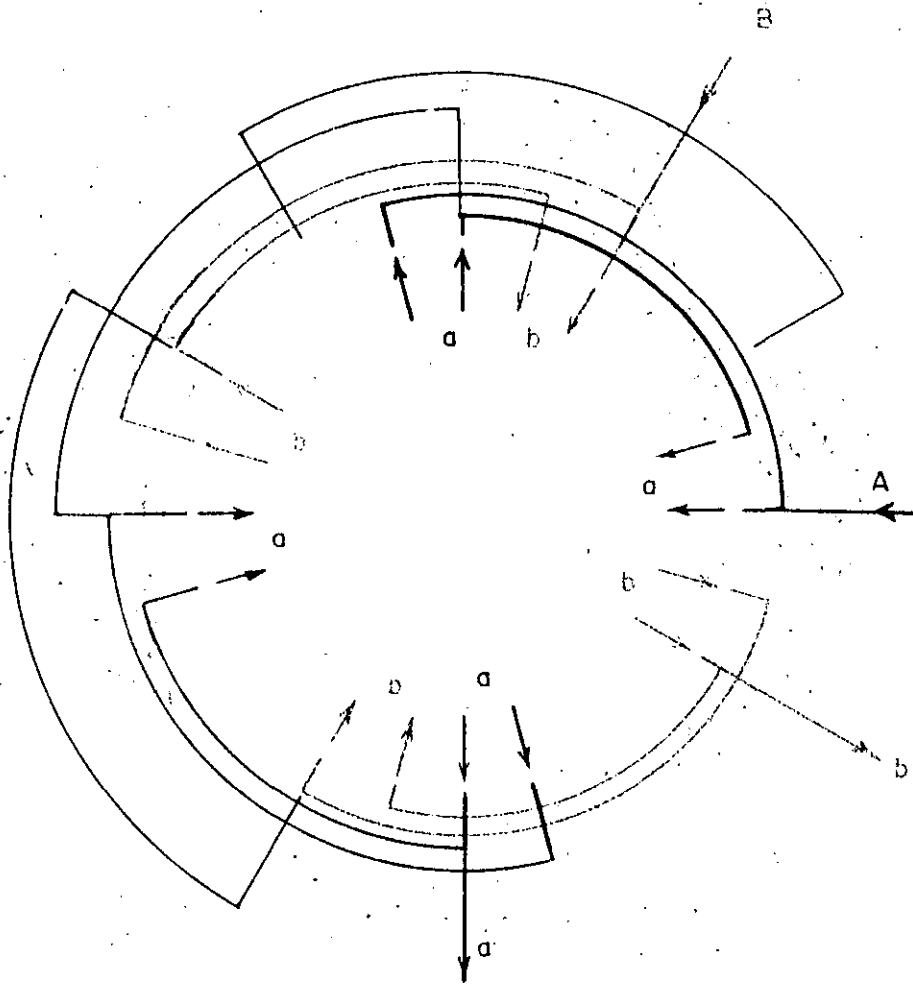


Como ilustración se muestra el diagrama simplificado de un motor de 4 polos, 3 fases, 24 ranuras.

En estos diagramas no importa el número de ranuras ya que los segmentos pueden representar cualquier número de ranuras o bobinas.







También se incluyen en la presente diagramas de motores trifásicos regulares, que pertenecen a motores reales, tanto Americanos como Europeos.

El primer caso corresponde a un motor Westinghouse de 1/2 H.P., 3 fases, 50 ciclos, 220 volts, 4 polos.

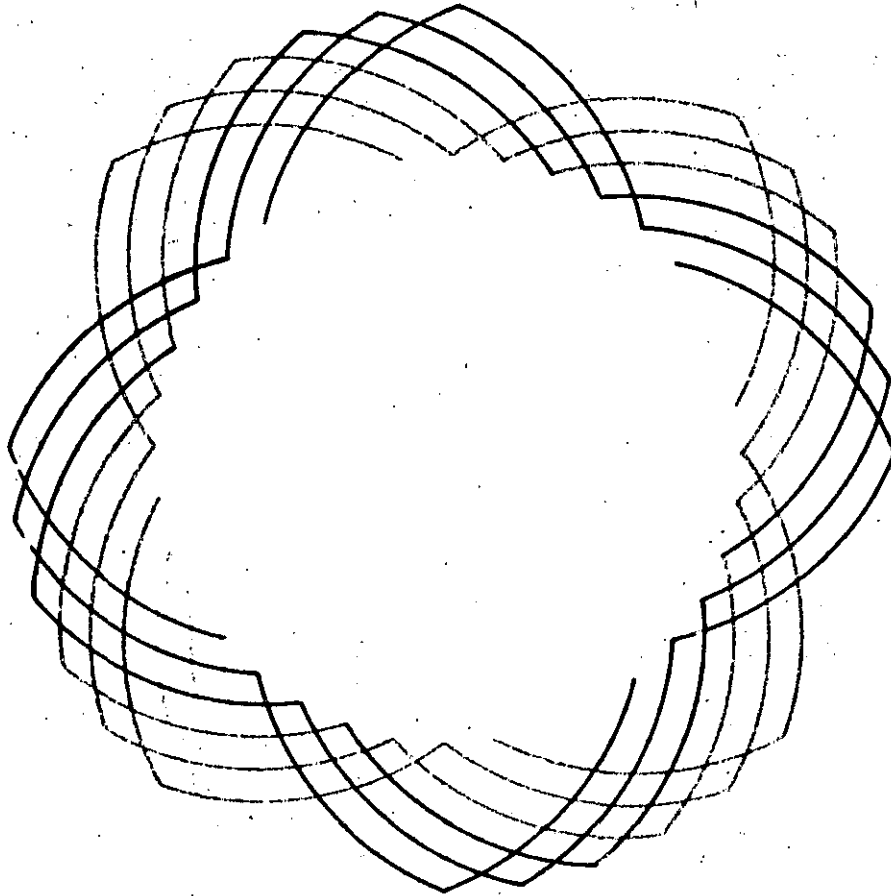


Diagrama de un motor de 3 fases. 1/2 h.p. marca ASEA, de 4 polos: 220-380 — volts, 50 ciclos, 24 ranuras, paso de bobinas 5 ranuras. 2 ranuras/polo/fase.

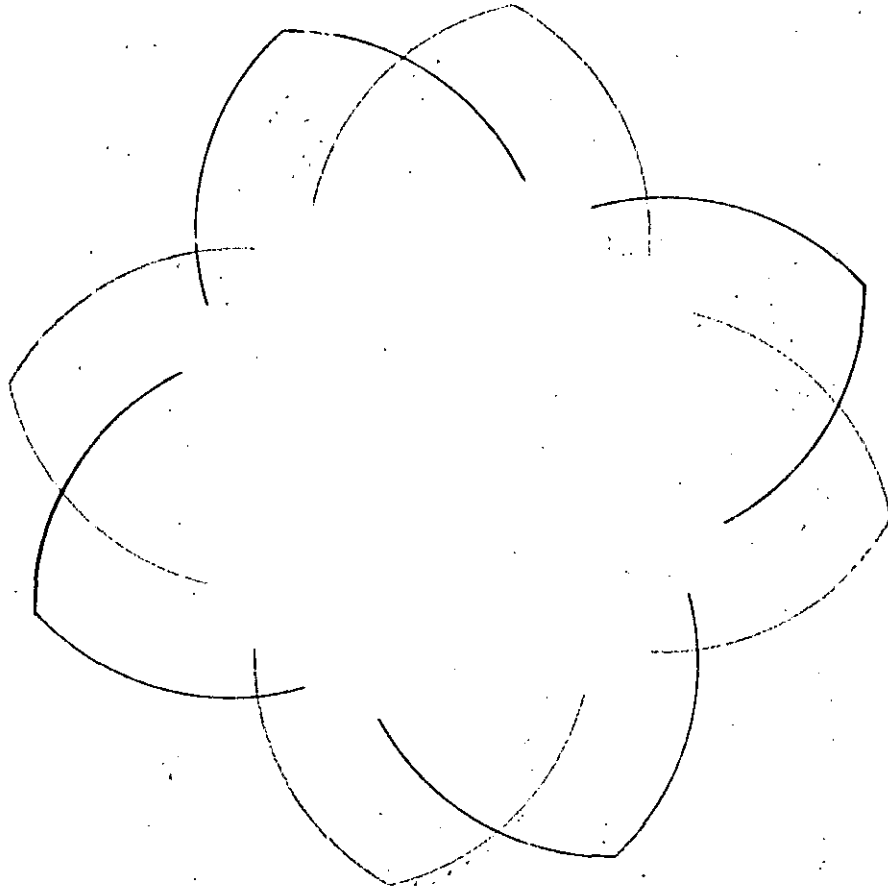
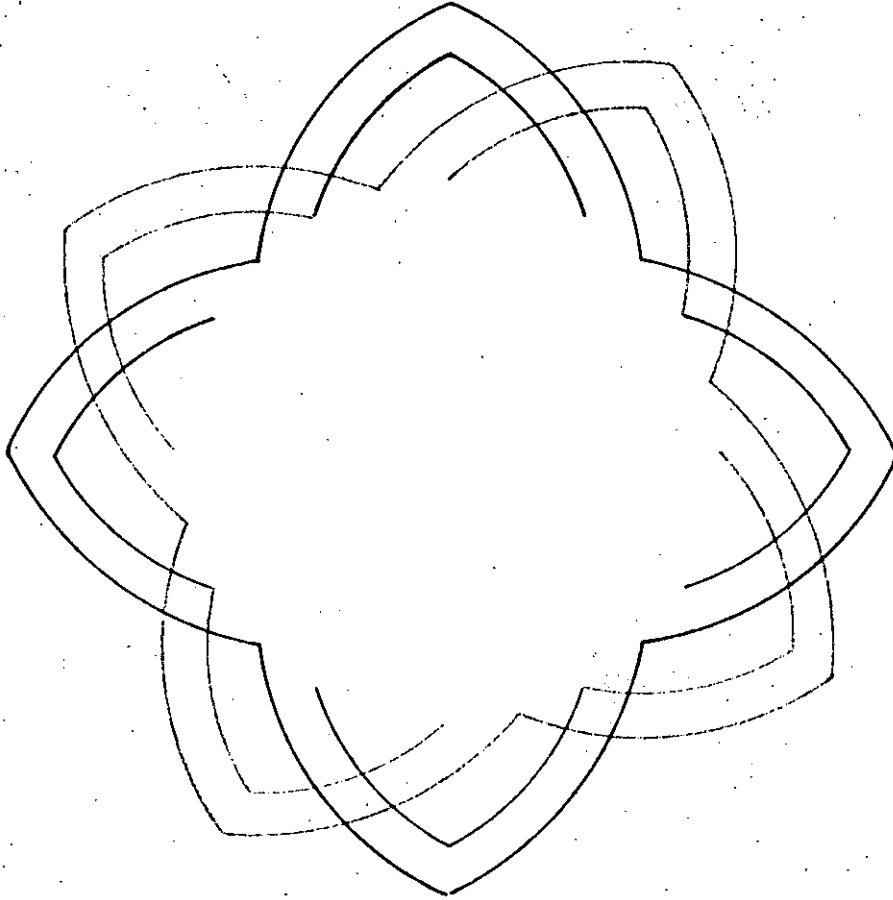


Diagrama de un motor de 3 fases, 1 h.p. marca BROWN BOVERI de 4 polos, —  
220-380 volts, 60 ciclos, 24 ranuras, pasos de bobinas 6 y 4 ranuras, de 2 capas, con  
bobinas concéntricas.



15

Diagrama de un motor ASFA, de 32 h.p., 3 fases, 60 ciclos, 6 polos, 1150 rpm., 440 volts, conectado en serie estrella, 54 ranuras, bobinas concéntricas, pasos de bobinas 7 y 9 ranuras, con rotor devanado. Ranuras/polo/fase 3.

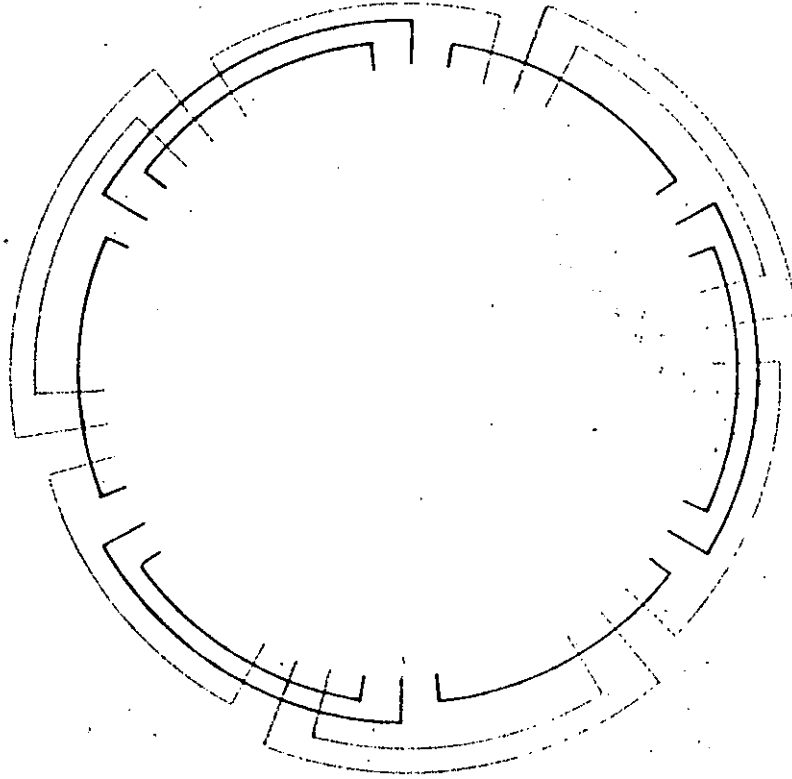
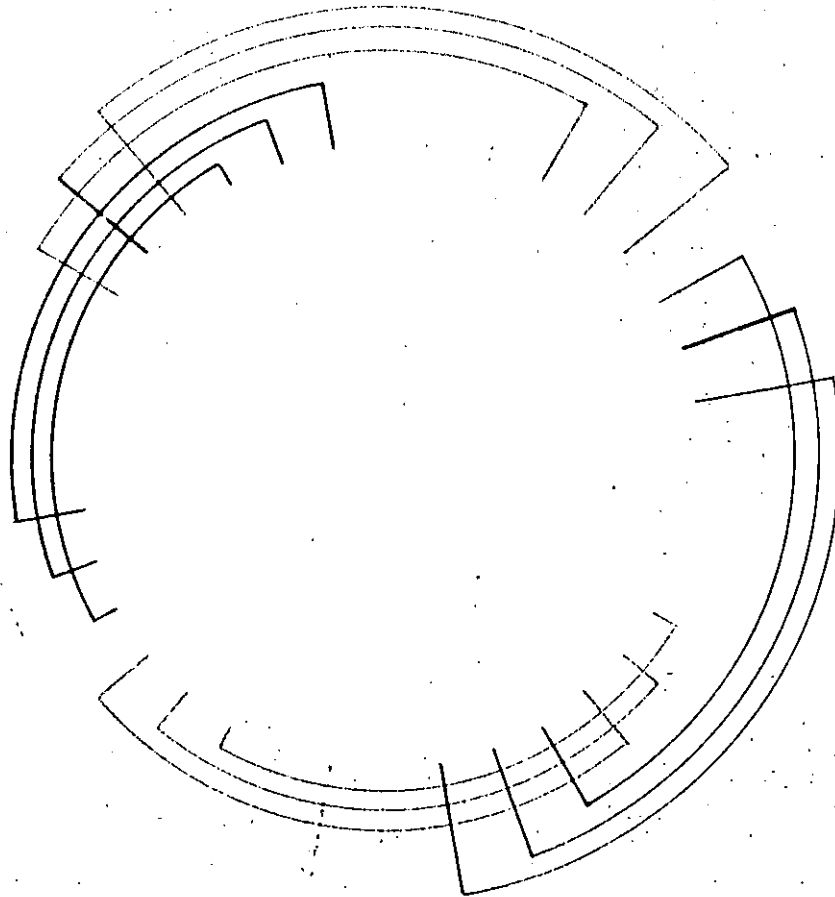


Diagrama de un motor ASEA, de 8 h.p., de elevador, de 3 fases, 50 ciclos, 4 polos, 220 volts, de rotor con doble jaula de ardilla.

Datos de devanado:

Ranuras: 36

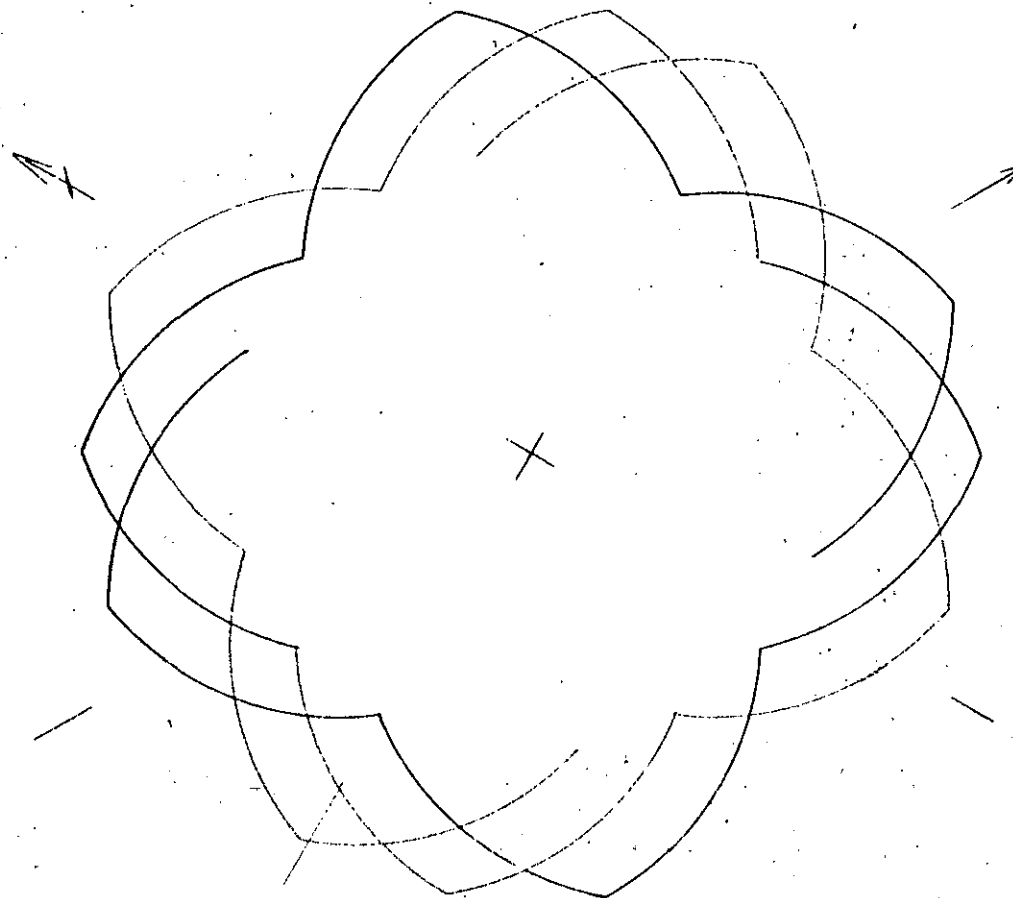


Primer caso de motor irregular tipo Americano.

Motor de 3 fases, 4 polos, 18 ranuras,  $1\frac{1}{2}$  ranuras/polo/fase

paso de bobinas =  $\frac{18}{4} = 4.5$  ranuras.

Como el paso resulta también fraccionario, se usará paso recortado de 4 ranuras.



Segundo caso de motor irregular tipo Americano.

Motor de 3 fases, 6 polos.  $2\frac{1}{2}$  ranuras/polo/fase, 45 ranuras.

paso de bobinas =  $\frac{45}{6} = 7\frac{1}{2}$  ranuras.

Como el paso resulta también fraccionario, se usará paso recortado de 7 ranuras.

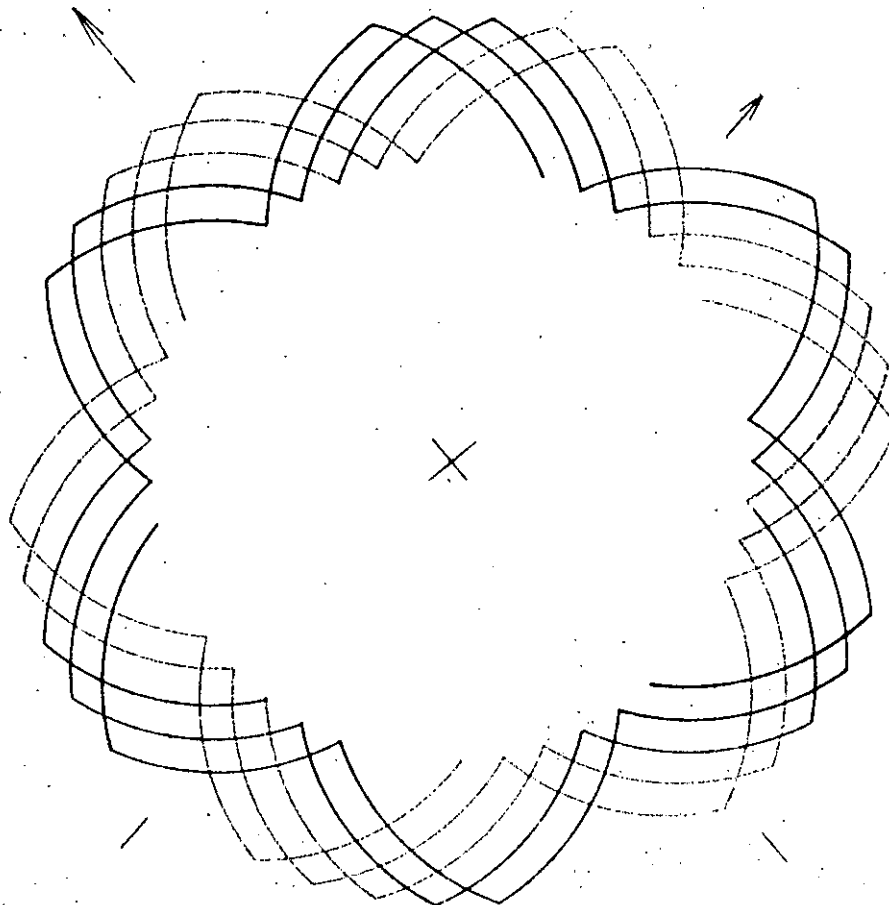




Diagrama de un motor de 3 fases, 3/4 h.p., marca BROWN BOVERI de 2 polos, 220-380 volts, 50 ciclos, 24 ranuras, pasos de bobinas 7, 9, 11 y 13 ranuras, de 2 - capas, con bobinas concéntricas.

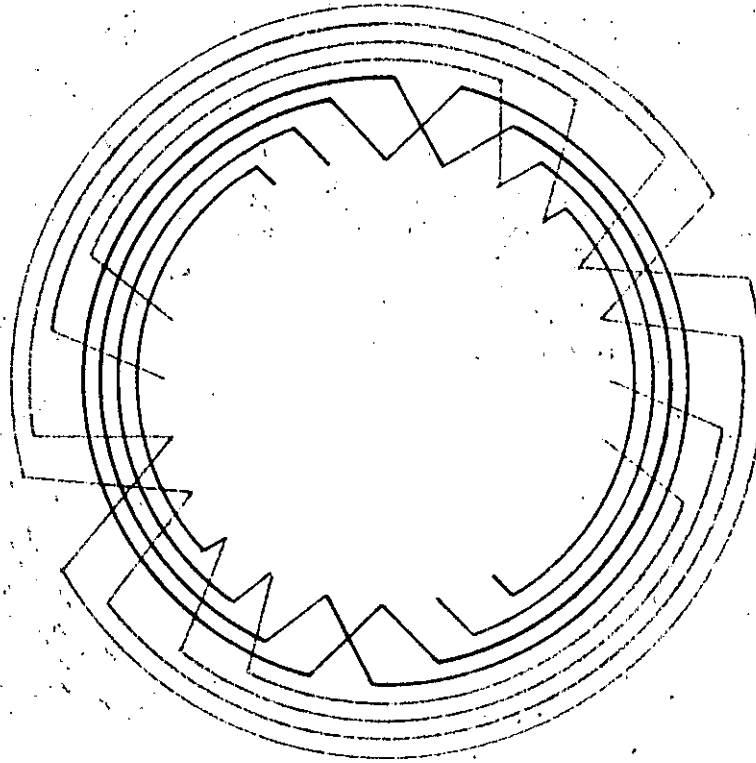


Diagrama de un motor G.E. de 75 h.p., 3 fases, 50 ciclos, 8 polos, 720 rpm.,  
220 volts, conectado en 4 paralelo delta.

Datos del devanado:

Ranuras: 120

Bobinas: 120

Grupos: 24

Bobinas/polo/fase: 5

Paso de bobinas: ( 1 - 12 ) 11 ranuras

Vueltas/bobina: 6

2 Conductores en paralelo No. 11 B & S

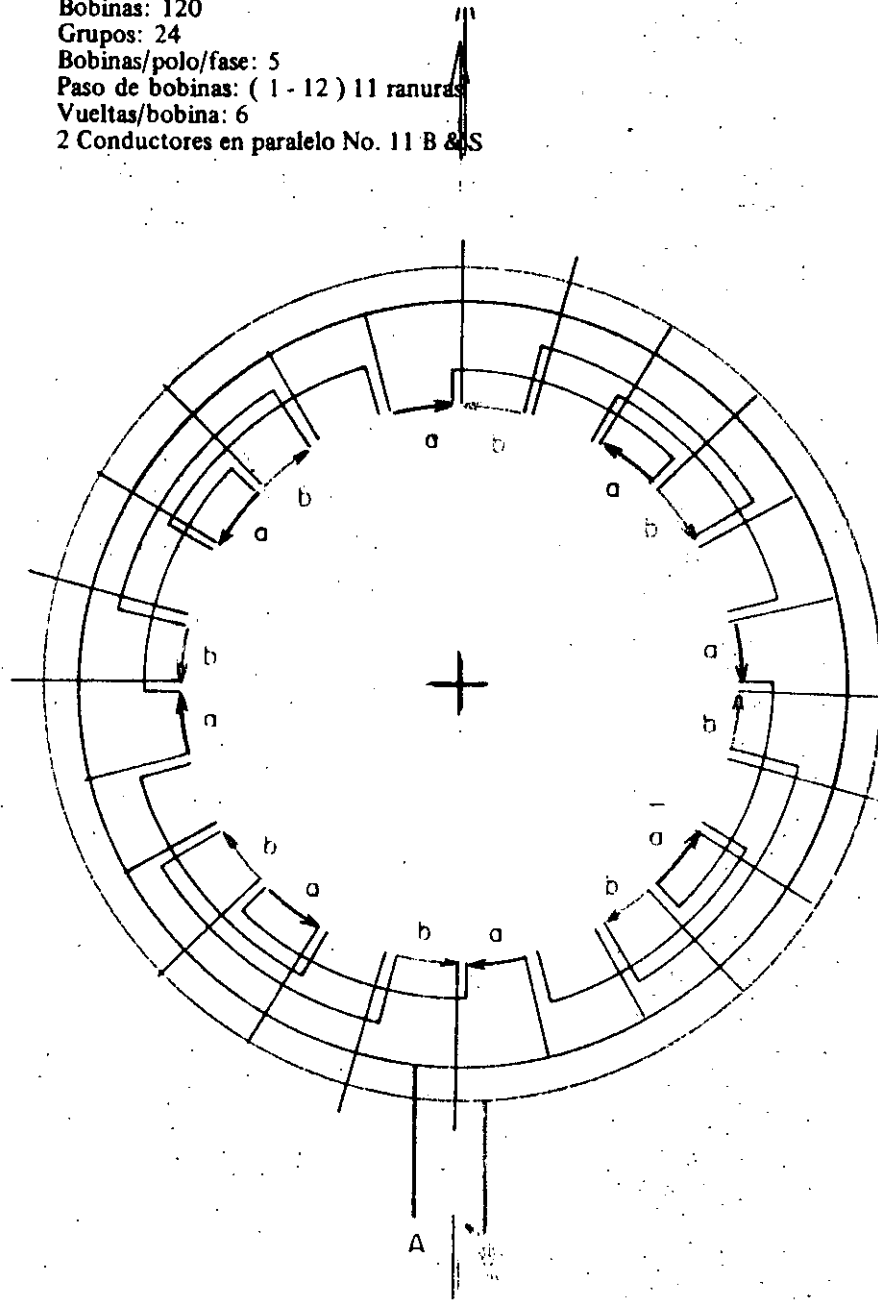
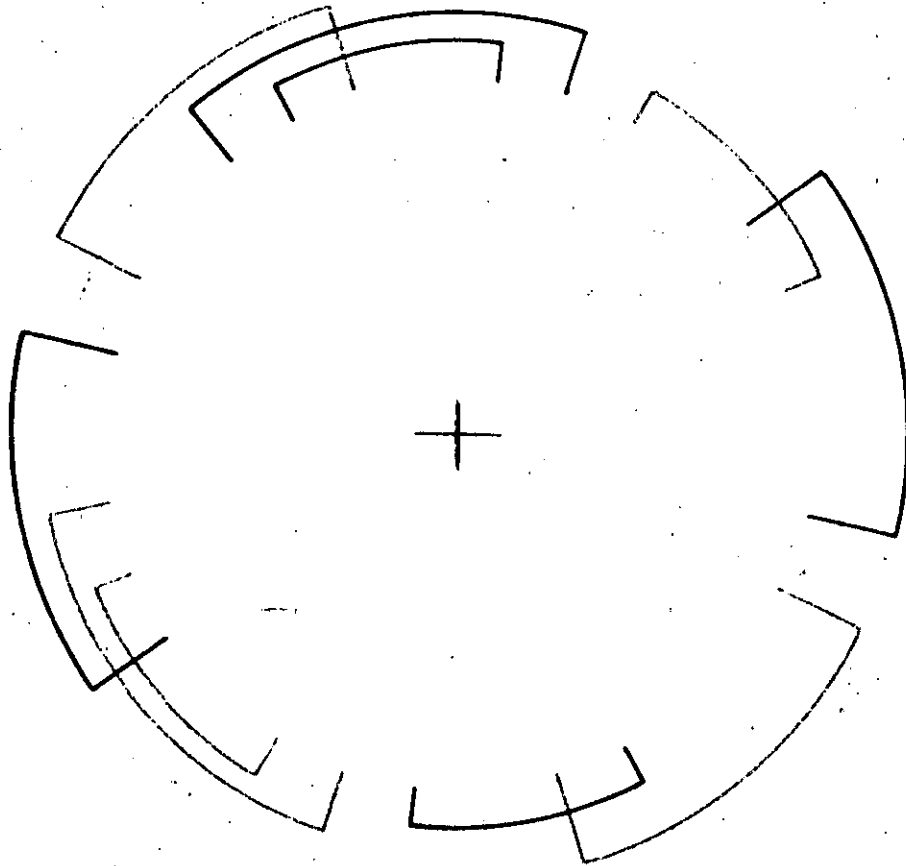


Diagrama de motor irregular tipo Europeo.

Motor de 3 fases, 8 polos, 30 ranuras, 1,25 ranuras/polo/fase pasos de bobinas 3, 4, y 5 ranuras, bobinas concéntricas, y de una sola capa.

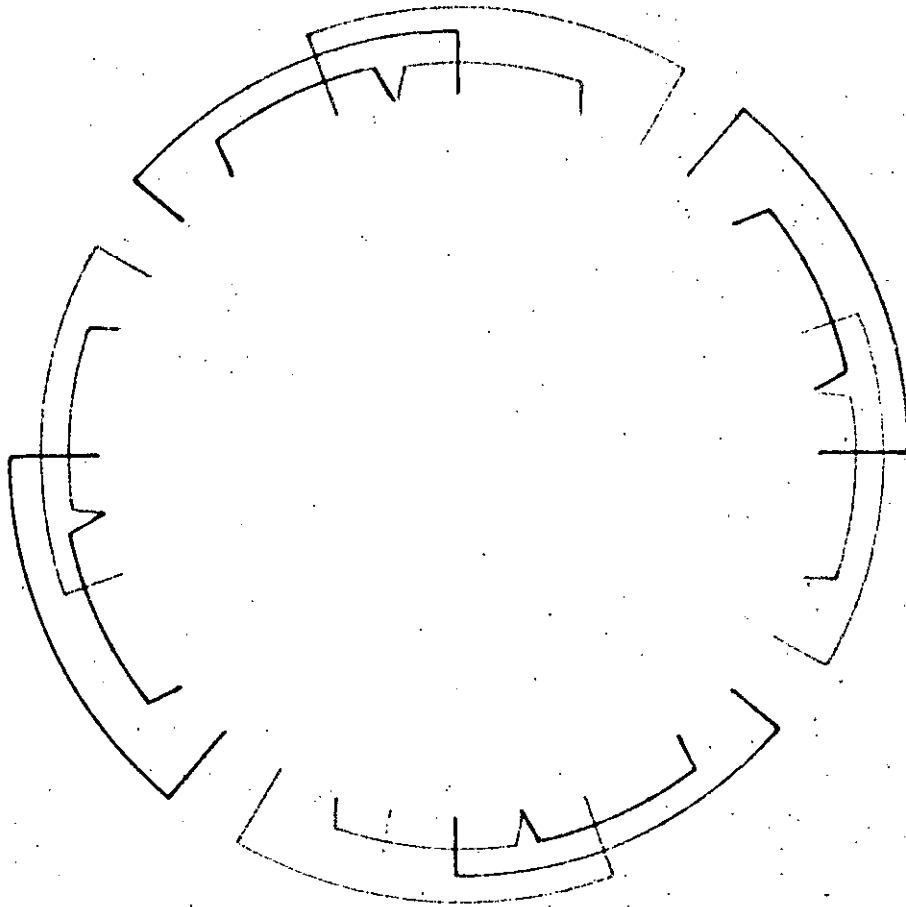


## Diagrama de motor irregular tipo Europeo.

Motor de 3 fases, 8 polos, 36 ranuras, 1.5 ranuras/polo/fase, pasos de bobinas 3 y 5 ranuras, bobinas concéntricas, dos capas.

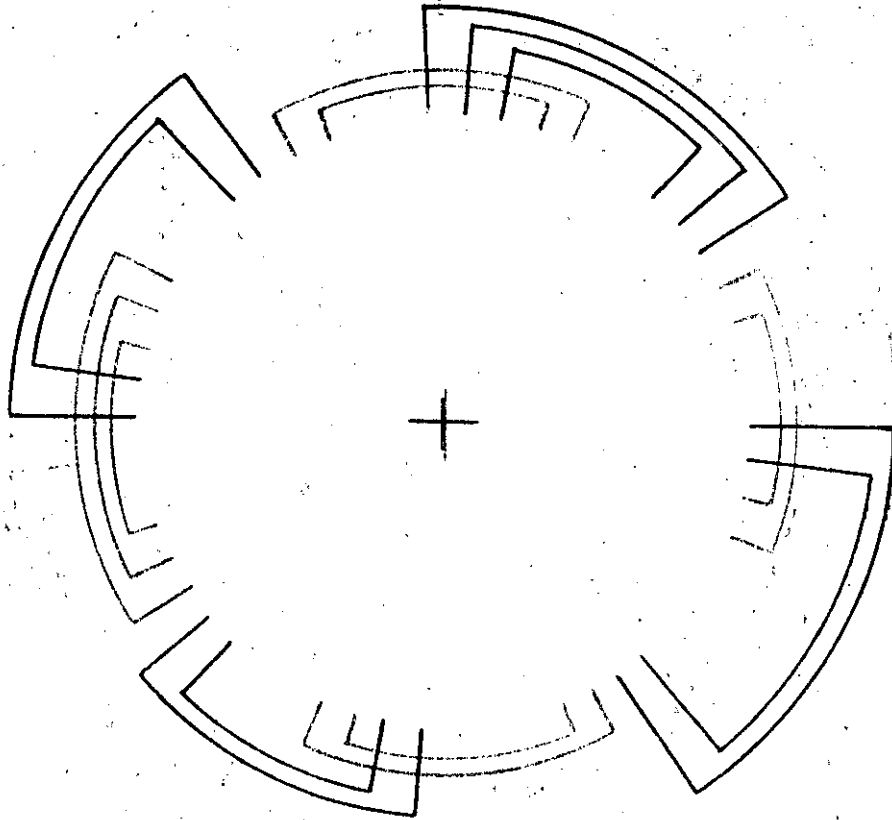
Pertenece a un motor real, marca OERLIKON, 660 rpm., 220-380 volts, 50 ciclos, pasos de bobinas, 1 - 4 - 60 vueltas  
1 - 6 - 120 "

alambre No. 23.

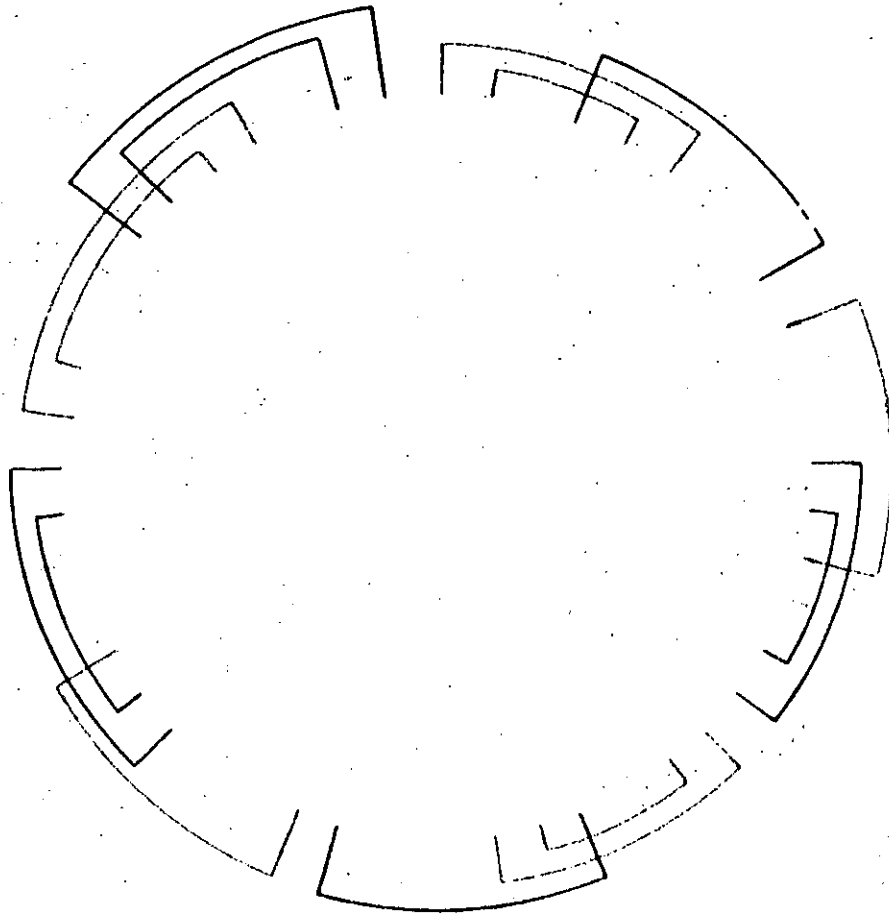


Motor irregular-tipo Europeo.

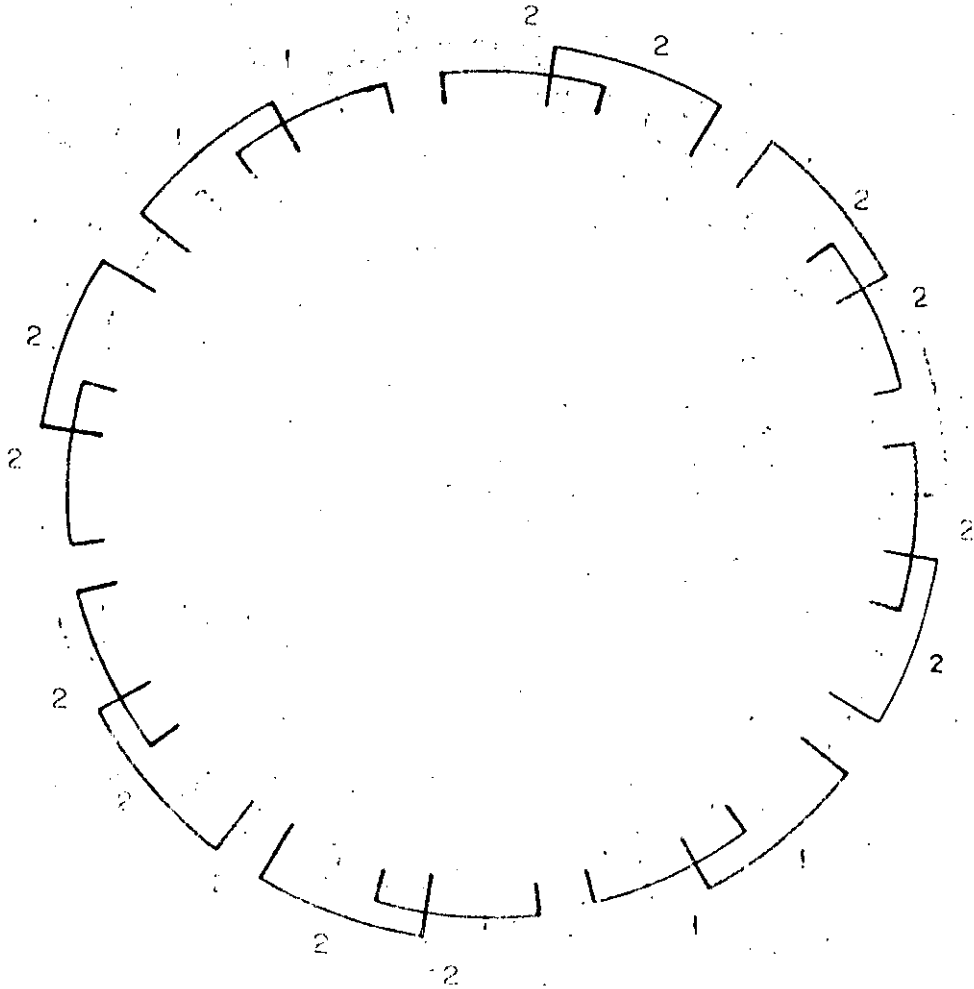
Motor de 3 fases, 8 polos, 54 ranuras, 2.25 ranuras/polo/fase, paso de bobinas 5, 6, y 7 ranuras, bobinas concéntricas, de una sola capa.



Motor regular de 8 polos, 48 ranuras, tipo Europeo, cambiado a motor de 10 polos irregular.



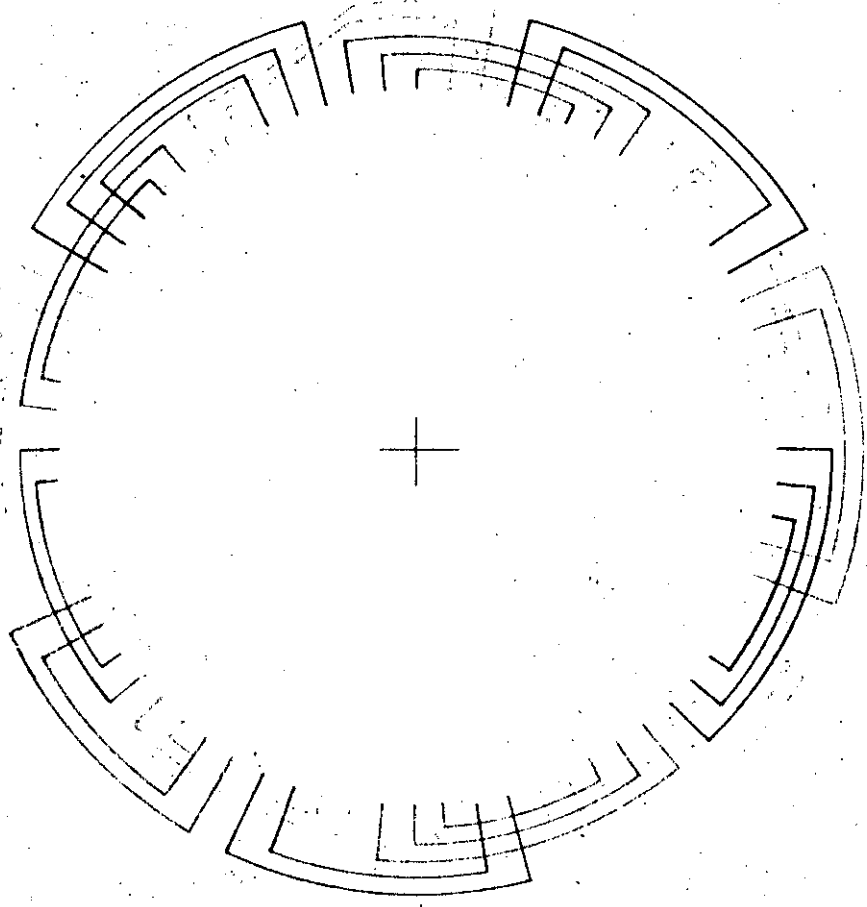
Motor regular de 14 polos, 84 ranuras, tipo Europeo, cambiado a motor de 16 polos irregular.



Motor regular de 8 polos, 72 ranuras, tipo Europeo, cambiado a motor irregular de 10 polos.



P

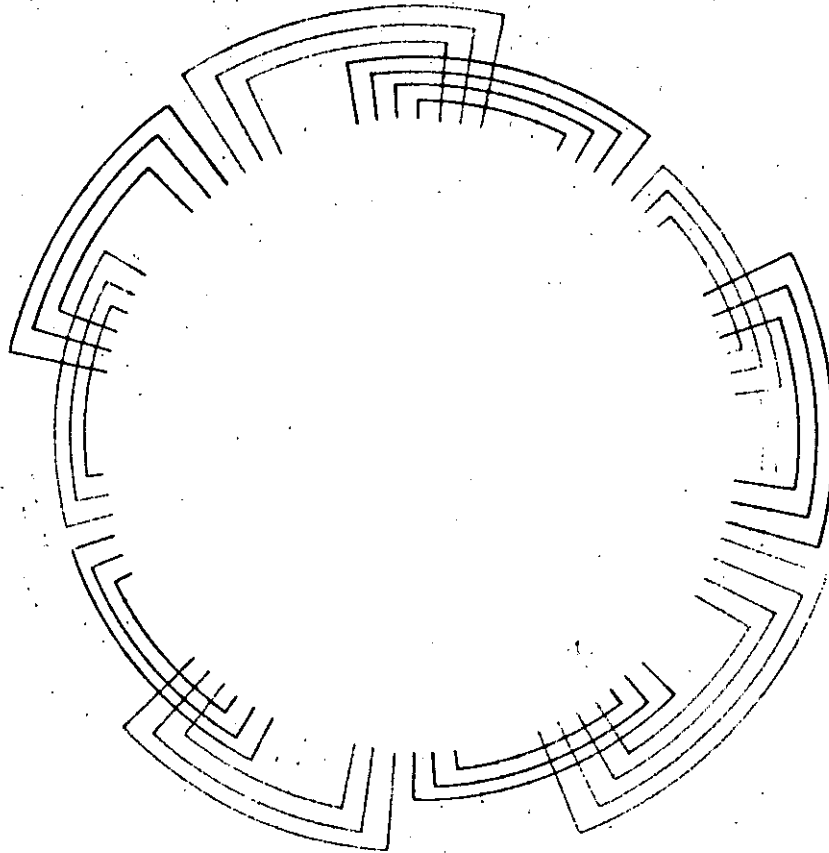


57

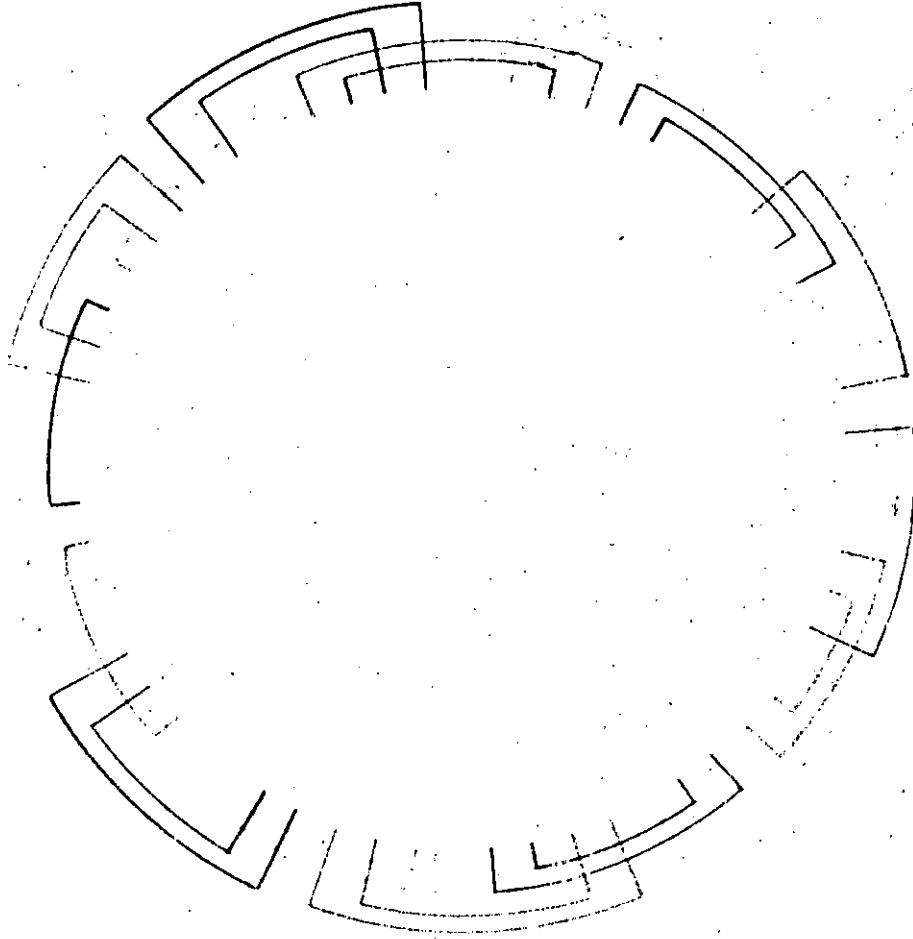
57



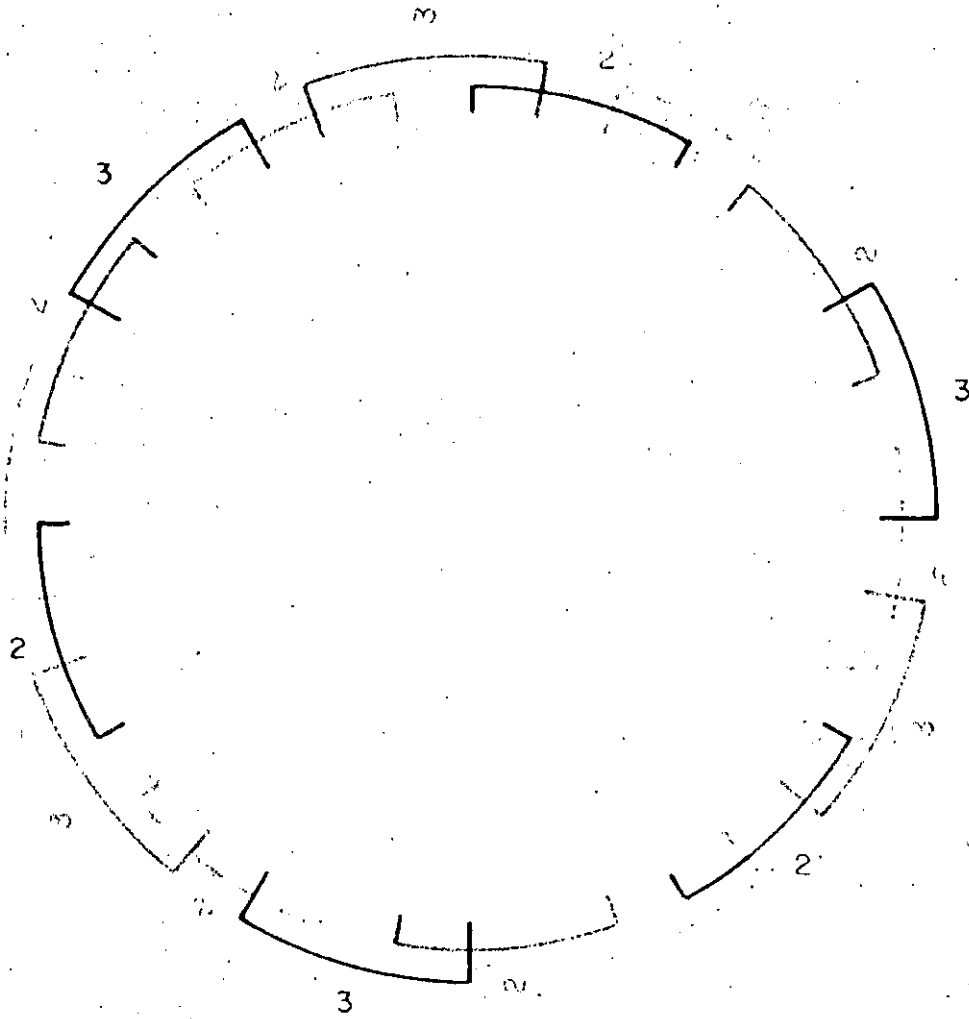
Motor regular de 8 polos, 96 r nuras; tipo Europeo, cambiado a motor de 10 polos irregular.



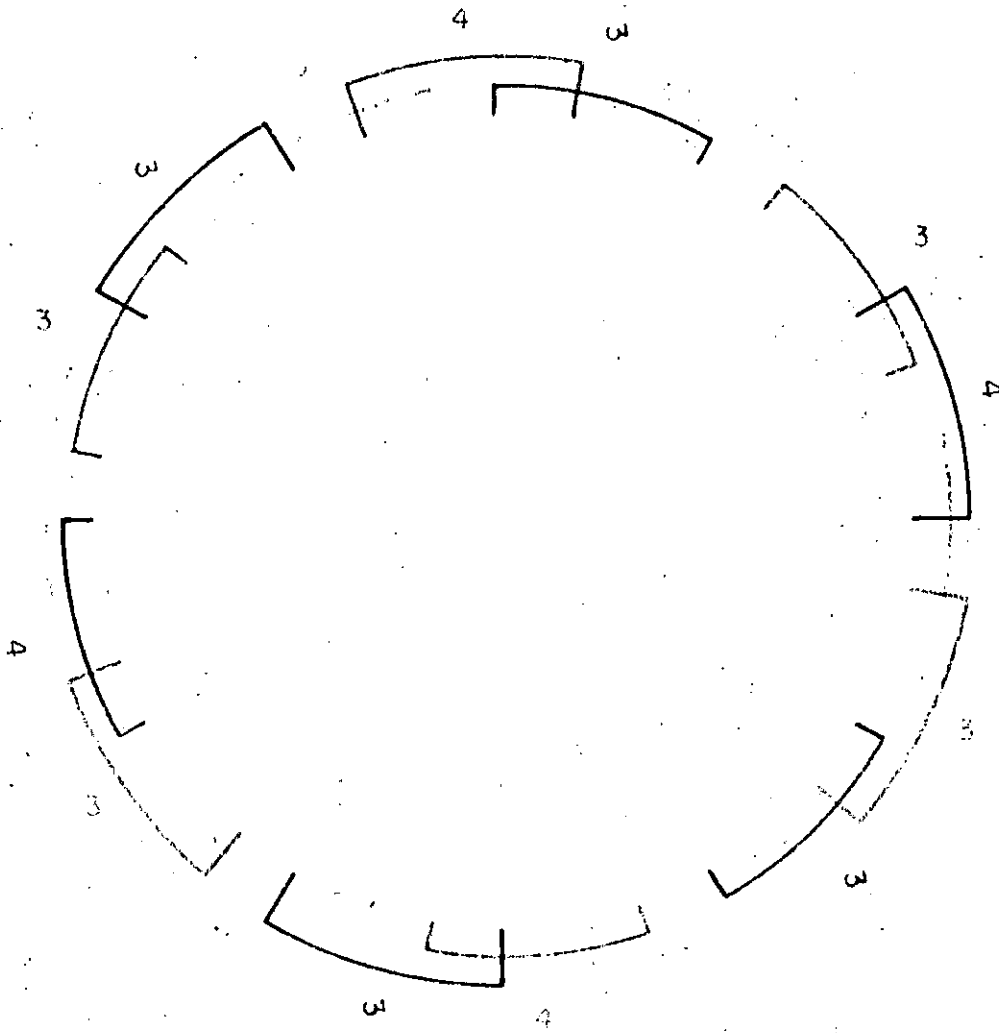
Motor regular de 10 polos, 60 ranuras, tipo Europeo, cambiado a motor de 12 — polos irregular.



Motor regular de 10 polos, 90 ranuras, tipo Europeo, cambiado a motor de 12 polos irregular.



Motor regular de 10 polos, 120 ranuras, tipo Europeo, cambiado a motor de 12 polos irregular.





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

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL  
Y DE CORRIENTE

OCTUBRE, 1984.

CURSO DE DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE MEDICION:

1.- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

1.1.- TEORIA DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

1.1.1.- INTRODUCCION

1.1.2.- CARACTERISTICAS REQUERIDAS

1.1.3.- ECUACIONES DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

1.1.4.- DIAGRAMA VECTORIAL

1.1.5.- CALCULO DE ERRORES

1.2.- CLASES DE PRECISION

1.2.1.- CLASES DE PRECISION PARA MEDICION .

1.2.2.- CLASES DE PRECISION PARA PROTECCION

1.2.3.- COMPENSACION

1.3.- CALCULO DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

1.3.1.- CALCULO DE TRANSFORMADORES PARA MEDICION

1.3.2.- CALCULO DE TRANSFORMADORES PARA PROTECCION

2.- TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

2.1.- TEORIA DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

2.1.1.- INTRODUCCION

2.1.2.- REQUERIMIENTOS DE CARACTERISTICAS.

2.1.3.- ECUACIONES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

2.1.4.- DIAGRAMA VECTORIAL

2.1.4.- CALCULO DE ERRORES

2.2.- CLASES DE PRECISION

2.2.1.- CLASES DE PRECISION

2.2.2.- COMPENSACION

2.3.- CALCULO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.

## 1.- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

### 1.1.- TEORIA DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.

1.1.1.- INTRODUCCION.- Un transformador de corriente puede definirse como "Un transformador para ser usado con instrumentos electricos de medición y/o dispositivos eléctricos de protección para la transformación de corriente y en el cual la corriente en el devanado secundario, en condiciones normales de uso, es sustancialmente proporcional a la corriente en el devanado primario y difiere de ella por un ángulo que es aproximadamente cero para un sentido apropiado de conexiones".

El transformador de corriente realiza dos funciones principalmente:

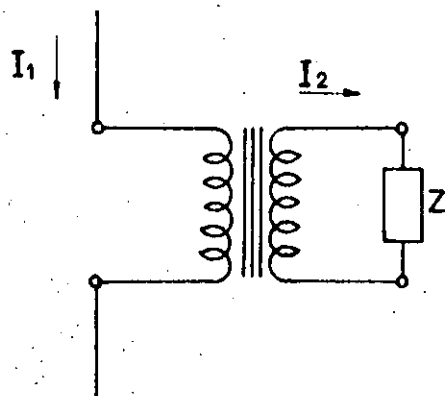
- a) De transformación de corriente
- b) De aislamiento de los instrumentos de medición y protección de la tensión de línea.

Los transformadores de corriente pueden ser subdivididos en dos grandes categorías considerando sus requerimientos de trabajo. La primera categoría consiste en aquellos usados para circuitos de medición e indicación y se denomina transformadores de corriente para medición. La segunda categoría la forman los usados en combinación con equipo de protección y se denominan transformadores de corriente para protección.

El primario del transformador de corriente debe ser conectado en serie con la línea donde se desea medir la corriente, de manera que la corriente recorra el primario.

El secundario del aparato, alimenta los aparatos de medida o protección que constituyen la carga secundaria

y hace circular una corriente  $I_2$  proporcional a la corriente  $I_1$  que recorre el primario.



Todos los aparatos de medición y protección son conectados en serie, y sus impedancias sumadas para formar la carga  $Z$ . Para hacer circular la corriente  $I_2$  a través de esa carga  $Z$ , es necesario la existencia de una tensión  $V_2$  en las terminales del secundario de tal manera que:

$$V_2 = Z I_2$$

El núcleo del transformador debe ser magnetizado de tal forma que se induzca en el secundario una fuerza electromotriz  $E_2$  que cubrirá la tensión en los bornes  $V_2$  y las caídas de tensión internas.

Un transformador perfecto no requiere ninguna energía para magnetizar el núcleo. En este caso ideal, la corriente de magnetización será nula y se tiene:

$$n_1 \vec{I}_1 = n_2 \vec{I}_2$$

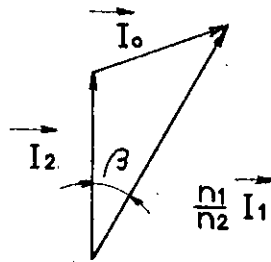
La corriente secundaria sería entonces una imagen rigurosamente proporcional a la corriente primaria y estaría en fase con ella.



Pero es conocido, que para magnetizar un circuito magnético, es necesario disponer de ampere-vueltas de excitación, y la relación queda:

$$n_1 \vec{I}_1 = n_2 \vec{I}_2 + n_2 \vec{I}_0$$

De una manera general,  $\vec{I}_2$  difiere de  $\frac{n_1}{n_2} \vec{I}_1 = \vec{I}'_2$  en magnitud y en fase, y esa diferencia será mayor entre mayor sea  $\vec{I}_0$



Un transformador de corriente de calidad, se caracteriza por tener una corriente de excitación pequeña.

Se puede escribir:

$$n_2 I_0 = H_0 L.$$

$$H_0 = \frac{B}{\mu}$$

$$B = \frac{\sum \phi}{n_2 S}$$

de donde

$$I_0 = \frac{\sum \phi L}{\mu n_2^2 S}$$

donde:

$H_0$  = campo magnético

$L$  = longitud de la línea media del circuito magnético

$B$  = inducción del circuito magnético

$\mu$  = permeabilidad del circuito magnético

$S$  = sección neta del circuito magnético

$n_2$  = número de espiras secundarias.

Es decir que  $I_0$  depende fundamentalmente de:

- a)  $\Sigma \emptyset$  o en definitiva de la f.e.m. necesaria para contrabalancear la tensión en las terminales de la carga  $V_2 = Z I_2$  más las caídas de tensión interna
- b) de  $\mu_r$  la permeabilidad del circuito magnético, o sea de la calidad de la laminación.
- c)  $n_2$  el número de espiras del devanado secundario.
- d)  $L$  y  $S$  de las dimensiones del circuito magnético.

$I_0$  será mucho más pequeña y por consiguiente el transformador será mucho mejor cuando:

- a) Las caídas de Tensión internas o sea la resistencia y la inductancia de fuga del bobinado secundario sean pequeñas.
- b) Que la calidad de la laminación sea mejor
- c) Que  $n_2$  o que los ampere vueltas nominales sean elevados.
- d) Que la longitud del circuito magnético sea pequeño y la sección del núcleo sea grande.

1.1.2.- CARACTERISTICAS REQUERIDAS.

Las características requeridas en los transformadores de corriente dependerán de los aparatos conectados en su secundario, teniendo entonces en cuenta si son transformadores de corriente para medición o transformadores de corriente para protección.

Quando son conectados aparatos para medición como wattmetros, varmetros o wathorímetros, se requiere que el aparato reproduzca fielmente tanto la magnitud como la fase de la corriente, ya que los errores que el transformador introduce en la medición de energía o potencia no solo dependen de los errores de relación sino también de los errores de fase como se verá posteriormente.

Por otro lado como la corriente que circula por una línea varía entre grandes límites según la potencia transmitida por esa línea, es necesario que la precisión sea garantizada a partir de una pequeña fracción de la corriente nominal hasta un cierto porcentaje arriba de ella, por ejemplo de 1/10 hasta 12/10 de la corriente nominal.

Quando son conectados aparatos de protección o relevadores, se requiere conservar la fidelidad de la relación de transformación mucho más arriba de la corriente nominal, por ejemplo diez o veinte veces la corriente nominal.

Quando se trata de relevadores de sobrecorriente, solo la relación de transformación es importante, pero cuando se trata de relevadores del tipo wattmétrico, en particular para asegurar la protección selectiva con relevadores de impedancia, hace falta mantener el error de relación y el de fase dentro de límites determinados para sobrecorrientes importantes.

Los transformadores de corriente son clasificados en diferentes clases de precisión definidas en las Normas, que desgraciadamente difieren de un país a otro.

Daremos algunas definiciones tomadas de las Normas ANSI y las Normas Mexicanas NOM-J-109, NOM J-161 que serán necesarias.

Un transformador de corriente se define por su corriente nominal primaria  $I_{1n}$  y su corriente nominal secundaria  $I_{2n}$ .

La relación nóminal o relación nominal de transformación es la relación de la corriente nominal primaria a la corriente nominal secundaria.

$$K_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$$

La relación real es la relación del valor eficaz de la corriente primaria al valor eficaz de la corriente secundaria ( $K_v$ ).

Factor de corrección de la relación (F.C.R.) es la relación de la relación real a la relación nominal. La corriente primaria es igual a la corriente secundaria multiplicada por la relación nominal y por el factor de corrección de la relación.

$$F.C.R. = \frac{K_v}{K_n}$$

Porcentaje de relación es la relación real expresada en porcentaje de la relación nominal.

$$e = \frac{K_v}{K_n} \times 100$$

Porcentaje de error de relación es la diferencia entre el factor de corrección de la relación y la unidad expresada en porcentaje.

$$E_{\%} = (F.C.R. - 1) \times 100.$$

Angulo de fase ( $\beta$ ) Es el desplazamiento de fase, en minutos, entre la corriente primaria y la corriente secundaria.

El ángulo de fase es positivo cuando la corriente secundaria esta adelantada con respecto a la corriente primaria.

Factor de corrección del ángulo de fase ( $K_{\beta}$ ). Es la relación entre el factor de potencia real y el factor que se desea medir.

Como se verá más adelante, el factor de corrección del ángulo de fase es función tanto del ángulo de fase del transformador de corriente y el factor de potencia del circuito primario que se desea medir.

Factor de corrección del transformador (F.C.T.) Es la relación entre los watts o watthoras reales a los watts o watthoras que se desean medir, dividida por la relación nominal.

El factor de corrección del transformador es igual al factor de corrección de la relación multiplicado por el factor de corrección de ángulo de fase.

$$F.C.T. = FCR \cdot K_{\beta}$$

Carga de un transformador de corriente. Es la propiedad del circuito conectado en el devanado secundario que determina la potencia activa y reactiva en las terminales secundarias. La carga es expresada ya sea como la impedancia total en ohms con sus componentes de resistencia efectiva y reactancia, o bien como los volts-ampares totales y su factor de potencia a un valor especificado de corriente y frecuencia.

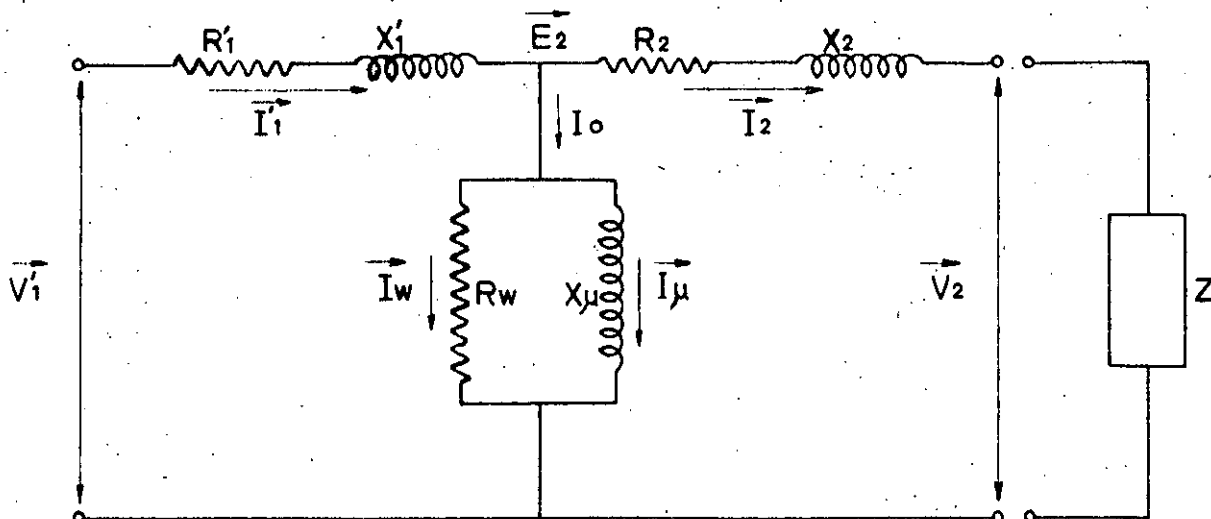
Las cargas normalizadas se designan con la letra B, seguida del valor total de impedancia.

CARGAS NOMINALES PARA TRANSFORMADORES  
DE CORRIENTE 5 AMPS SECUNDARIOS

DESIGNACION DE LA CARGA	RESISTENCIA ohms	INDUCTANCIA (mH)	IMPEDANCIA ohms	FACTOR DE POTENCIA	VA
CARGAS PARA MEDICION					
B 0.1	0.09	0.116	0.1	0.9	2.5
B 0.2	0.18	0.232	0.2	0.9	5.0
B 0.5	0.45	0.580	0.5	0.9	12.5
B 0.9	0.81	1.04	0.9	0.9	22.5
B 1.8	1.62	2.08	1.8	0.9	45
CARGAS PARA PROTECCION					
B 1	0.5	2.3	1.0	0.5	25
B 2	1.0	4.6	2.0	0.5	50
B 4	2.0	9.2	4.0	0.5	100
B 8	4.0	18.4	8.0	0.5	200

1.1.3 Ecuación del transformador de corriente.

Partiendo del circuito equivalente de un transformador, con todos sus valores referidos al secundario,



Se sabe que:

$$\vec{E}_2 = \vec{V}_2 + R_2 \vec{I}_2 + jX_2 \vec{I}_2$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + \vec{I}_2$$

Si el secundario tiene conectado una impedancia  $Z$ , con un ángulo característico  $\delta$  supuestamente inductivo,

$$\vec{V}_2 = Z \vec{I}_2$$

de donde:

$$\vec{E}_2 = Z \vec{I}_2 + (R_2 + jX_2) \vec{I}_2$$

$$\vec{E}_2 = (Z + Z_2) \vec{I}_2$$

y se deduce un ángulo  $\psi_2$  característico de  $Z_t = Z + Z_2$

Por otro lado se tiene:

$$E_2 = 4.44 f S_n n_2 \beta \times 10^{-8}$$

Si  $f = 60$  y  $S = 0.9 S_n$        $S =$  Sección bruta

$S_n =$  Sección neta

$$E_2 = 2.4 n_2 \beta S \times 10^{-6}$$

$$\beta = \frac{E_2 \times 10^6}{2.4 n_2 S} = \frac{(Z + Z_2) I_2}{2.4 n_2 S} \cdot 10^6$$

$$= \frac{Z_t I_2}{2.4 n_2 S} \cdot 10^6$$

Se puede concluir:

1. Para un transformador dado, que alimenta una impedancia fija, la inducción es proporcional al valor de la corriente secundaria. Esto físicamente significa que la tensión inducida (y la inducción) se adapta para hacer circular por la impe-

dancia fija una corriente  $I_2$  cuando  $I_1$  varia.

$$I_2 = \frac{n_1 h_1}{n_2}$$

2. Para un transformador dado, y una corriente secundaria fija (y por lo tanto una corriente primaria también fija), si se varía la carga  $Z_2$ , la inducción es proporcional a la impedancia total  $Z_t$ .

Lo cual significa que  $E_2 = Z_t I_2$  se adapta para mantener  $I_2$  constante cualquiera que sea  $Z$ .

3. La existencia de una impedancia primaria no tiene ninguna influencia en la precisión del transformador de corriente; claro esta, esta impedancia influye en la relación de la tensión primaria a la secundaria, pero esta relación no tiene ningún interés en el transformador de corriente. La precisión del transformador de corriente es rigurosamente independiente del primario.

#### 1.1.4 Diagrama vectorial

(Caso de una carga inductiva  $\cos \delta$ )

Partiendo de la dirección de  $\vec{I}_2$ , se puede trazar  $\vec{V}_2 = Z \vec{I}_2$  desplazada un ángulo  $\delta$  adelantado con respecto a  $\vec{I}_2$ .

Ahora se tiene  $\vec{E}_2 = \vec{V}_2 + (R_2 + jX_2) \vec{I}_2$

y  $\vec{E}_2$  hace un ángulo  $\psi_2$  ligeramente diferente de  $\delta$ .

El flujo  $\phi$  esta en cuadratura y atrazado de  $\vec{E}_2$ , (la fuerza electromotriz inducida referida al secundario)

Conociendo  $E_2$  se puede calcular la inducción:

$$\beta = \frac{E_2 \cdot 10^6}{2.4 n_2 S}$$



Utilizando las curvas de magnetización de la lámina utilizada para el núcleo, se obtienen los valores de la intensidad del campo magnético reactivo  $H_{\mu}$  y activo  $H_w$  que corresponden a la inducción calculada.

$$\begin{aligned} \text{Se tiene } H_{\mu} \ell &= n_2 I_{\mu} \\ H_w \ell &= n_2 I_w \end{aligned}$$

Sobre la dirección de  $\vec{\phi}$ , se lleva el valor  $n_2 I_{\mu}$ , luego por la extremidad de este vector y perpendicular a él, se lleva el vector  $n_2 I_w$ .

La suma vectorial  $n_2 I_{\mu} + n_2 I_w$  vale  $n_2 I_0$  y está adelantado el ángulo  $\alpha$  (ángulo característico de la laminación) de la dirección de  $\vec{\phi}$ .

Finalmente se obtiene:

$$n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_2 I_0$$



## 1.1.5.- CALCULO DE ERRORES

## a) Porcentaje de error de relación

Si se proyecta el triángulo de ampere-vueltas sobre la dirección de  $I_2$  se obtiene.

$$n_2 I_2 = n_1 I_1 \cos \beta - n_2 I_0 \sin (\psi_2 + \alpha)$$

En un transformador de corriente normal, el ángulo  $\beta$  es siempre muy pequeño por lo que se puede admitir que  $\cos \beta = 1$  y

$$n_2 I_2 = n_1 I_1 - n_2 I_0 \sin (\psi_2 + \alpha)$$

El término  $n_2 I_0 \sin (\psi_2 + \alpha)$  se puede poner como:

$$n_2 I_0 \sin (\psi_2 + \alpha) = n_2 I_w \cos \psi_2 + n_2 I_\mu \sin \psi_2 = n_2 I_\varepsilon$$

La presencia de la corriente de excitación hace que la corriente secundaria sea siempre menor a su valor teórico. Si la corriente secundaria real es menor a la corriente secundaria nominal, (teórica) el F.C.R. es mayor a la unidad y el porcentaje de error de relación es positivo este error de relación vale:

$$E_s = 100 \frac{n_2 I_\varepsilon}{n_1 I_1}$$

$$E_s = \frac{100}{n_1 I_1} (n_2 I_w \cos \psi_2 + n_2 I_\mu \sin \psi_2)$$

## b) Error de Fase

Por la proyección sobre una perpendicular a  $I_2$  se obtiene:

$$n_1 I_1 \sin \beta = n_2 I_0 \cos (\psi_2 + \alpha)$$

El ángulo  $\beta$  es suficientemente pequeño que se puede medir en radianes o con su seno de donde:

$$\beta = \frac{n_2 I_\beta}{n_1 I_1}$$

Haciendo

$$\begin{aligned} n_2 I_\beta &= n_2 I_0 \cos (\psi_2 + \alpha) \\ &= n_2 I_\mu \cos \psi_2 - n_2 I_w \sin \psi_2 \end{aligned}$$

Se hace notar que mientras  $(\psi + \alpha)$  sea menor a  $90^\circ$ ,  $I_2$  se encuentra adelantado de  $I_1$  y por lo tanto el error de fase  $\beta$  es positivo.

Se tiene en centiradianes

$$\beta_{\%} = \frac{100}{n_1 I_1} (n_2 I_\mu \cos \psi_2 - n_2 I_w \sin \psi_2)$$

y en minutos (1 radian = 3438 minutos)

$$\beta_{\min} = \frac{3438}{n_1 I_1} (n_2 I_\mu \cos \psi_2 - n_2 I_w \sin \psi_2)$$

1.2. CLASES DE PRECISION.-

1.2.1. Clases de precisión para medición.

Las normas Americanas (ANSI) y las normas Mexicanas (DGN-NOM-J) bajan la clase de precisión para un transformador de corriente para medición, en el máximo error que el transformador introduce en la medición de potencia o energía. En otras palabras, está basado en el requerimiento de que el factor de corrección de transformador (F.C.T.) esté dentro de límites especificados cuando el factor de potencia (atrasado) de la carga medida tenga cualquier valor entre 0.6 y 1.0, dentro de rangos especificados.

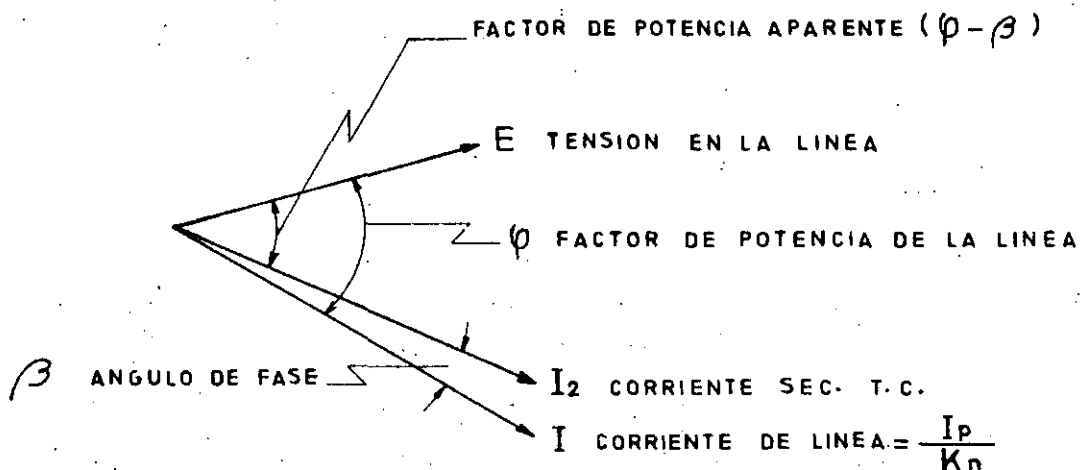
Estos rangos son: A cien por ciento de la corriente nominal primaria (también al factor de sobre corriente térmico continuo, cuando este sea mayor a 1.0) y con la carga nominal. A diez por ciento de la corriente nominal primaria y con la carga nominal, a este valor el error permitido es el doble del valor permitido a 100 por ciento de la corriente nominal.

Las clases de precisión para medición con sus correspondientes límites de factor de corrección del transformador están dadas en la siguiente tabla:

Clases de precisión	F.C.T.			
	A 100 % de In1		A 10 % de In1	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
0.3	0.997	1.003	0.994	1.006
0.6	0.994	1.006	0.988	1.012
1.2	0.988	1.012	0.976	1.024

Siendo el F.C.T. el producto del F. C. R., por el factor de corrección del ángulo de la fase  $K_\beta$ , estos dos factores tienen límites también establecidos:

Si existe un ángulo  $\beta$  entre la corriente primaria y la corriente secundaria, la potencia en el circuito donde está conectado el transformador es  $P = EI \cos \psi$ , pero el instrumento (wattmetro) medirá  $P_M = EI \cos (\psi - \beta)$ , siendo  $\psi$  el factor de potencia de la línea.



Por lo tanto la lectura del wattmetro deberá ser multiplicado por:

$$\frac{\cos \psi}{\cos (\psi - \beta)}$$

que es el factor de corrección del ángulo de fase  $K_\beta$ .

$$k_\beta = \frac{\cos \psi}{\cos (\psi - \beta)} = \frac{\cos \psi}{\cos \psi \cos \beta + \operatorname{sen} \psi \operatorname{sen} \beta}$$

dividiendo entre  $\cos \psi$

$$K_{\beta} = \frac{1}{\cos \beta + \tan \psi \operatorname{sen} \beta}$$

como  $\beta$  es un ángulo pequeño.  $\cos \beta = 1$   
 $\operatorname{sen} \beta = \beta$

$$K_{\beta} = \frac{1}{1 + \beta \tan \psi}$$

$\beta$  en radianes, como  $\beta$  generalmente se expresa en minutos.

$$K_{\beta} = \frac{1}{1 + \beta \frac{\tan \psi}{3438}}$$

Siempre y cuando  $\frac{\beta \tan \psi}{3438}$  sea menor a 0.05, se puede sin mucho error poner:

$$K_{\beta} = 1 - \frac{\beta \tan \psi}{3438}$$

Por otro lado se tiene:

$$\begin{aligned} \text{F.C.T.} &= \text{F.C.R.} \cdot K_{\beta} \\ &= \text{F.C.R.} \left( 1 - \frac{\beta \tan \psi}{3438} \right) \end{aligned}$$

y como F.C.R. es aproximadamente 1:

$$\text{F.C.T.} = \text{F.C.R.} - \frac{\beta \tan \psi}{3438}$$

Tomando en cuenta los límites especificados por la norma del factor de potencia (0.6 y 1)

$$\cos \theta = 1 \quad \tan \theta = 0$$

$$\text{F.C.T.} = \text{F.C.R.}$$

$$\cos \theta = 0.6 \quad \tan \theta = 1.33$$

$$\text{F.C.T.} = \text{F.C.R.} - \frac{\beta}{2600}$$

$$\beta = 2600 (\text{F.C.R.} - \text{F.C.T.})$$

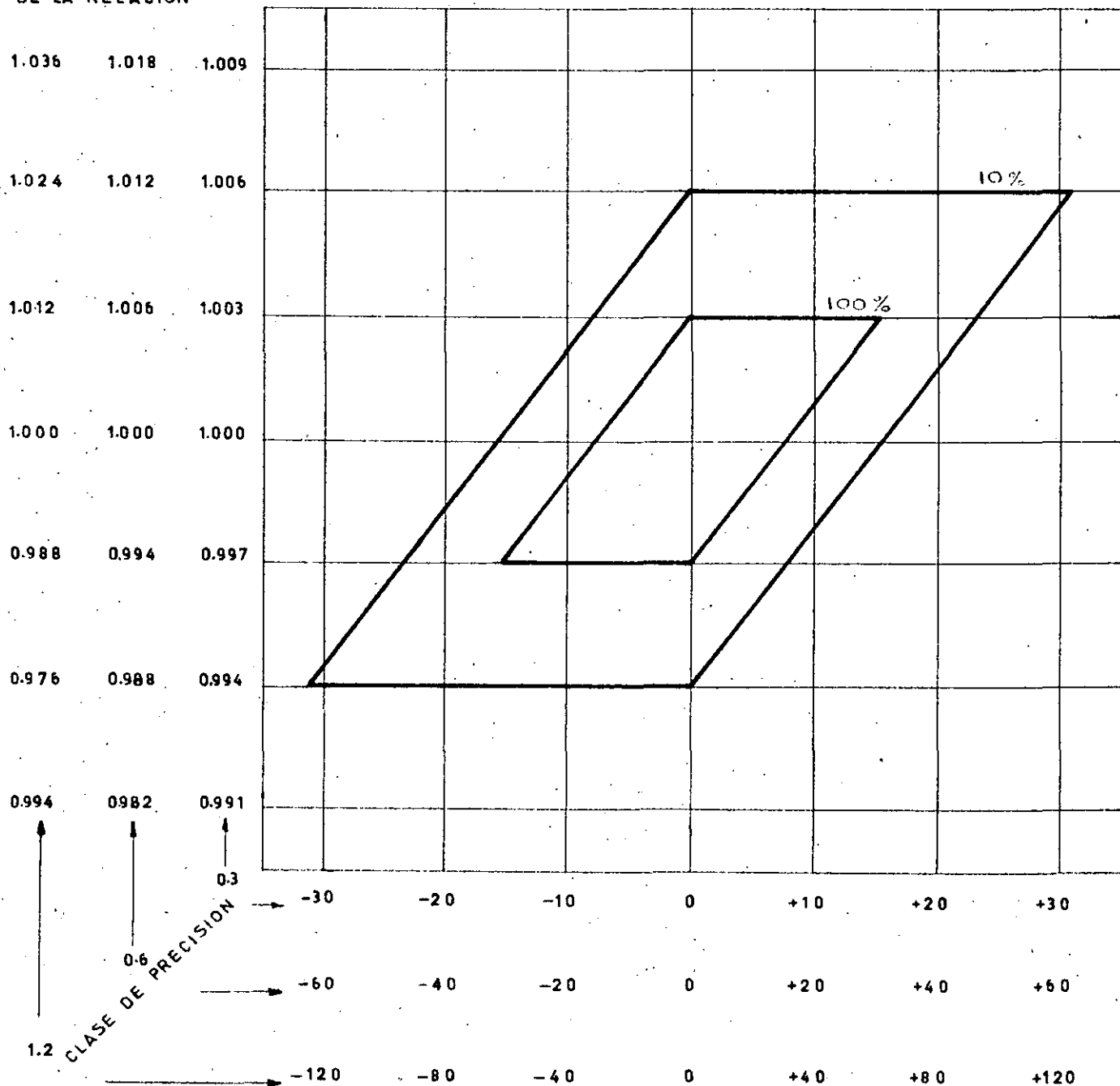
Se concluye que los valores límites del F.C.R., son los mismos que los límites del F.C.T., que los valores límites del ángulo de fase están dados por la expresión anterior.

Las relaciones entre los límites de los F.C.R., y los ángulos de fase para los valores límites de los F.C.T., se muestran en los paralelogramos.



LIMITES DE LAS CLASES DE PRECISION  
 PARA LOS TRANSFORMADORES DE CORRIEN  
 TE PARA MEDICION

FACTOR DE CORRECCION  
 DE LA RELACION



### 1.2.2. Clases de precisión para protección.

Una clase de precisión para protección, se deberá designar por dos símbolos que describen su comportamiento en estado estable como sigue:

1.- Clasificación "C" o "T".- La clasificación "C" cubre todos los transformadores de corriente para protección en los cuales el flujo de dispersión en el núcleo del transformador, no tiene un efecto apreciable en la relación dentro de los límites de corriente y carga especificados.

La clasificación "T" cubre los transformadores de corriente para protección en los cuales el flujo de dispersión en el núcleo tiene un efecto apreciable en la relación dentro de los límites de corriente y carga especificados.

Un efecto apreciable es definido como un 1 por ciento de diferencia entre el F.C.R. verdadero y el F.C.R., calculado.

2.- Tensión secundaria nominal.- Es la tensión que el transformador puede suministrar a una carga nominal a 20 veces la corriente secundaria nominal sin exceder 10 por ciento el factor de corrección. Además el factor de corrección deberá estar limitado al 10 por ciento a cualquier corriente desde 1 hasta 20 veces la corriente secundaria nominal a la carga nominal o cualquier carga nominal menor usada para determinar la tensión secundaria nominal de acuerdo con la siguiente tabla:

Tensión nominal secundaria volts	Carga nominal
10	B0.1
20	B0.2
50	Bo.5
100	B1.0
200	B2.0
400	B4.0
800	B8.0

Por ejemplo un transformador c-100, significa que la relación puede ser calculada y que el factor de corrección no excederá 10 por ciento a cualquier corriente desde 1 a 20 veces la corriente nominal secundaria con una carga nominal de B1.0 (1.0 ohms).

$$1 \text{ Ohm} \times 5 \text{ amperes} \times 20 \text{ veces} = 100 \text{ volts.}$$

### 1.2.3. Compensación.

Existen varios procedimientos para reducir los errores en los transformadores de corriente, entre ellos podemos citar:

- a) La compensación.
- b) La variación artificial de la permeabilidad.
- c) La construcción con núcleo polarizado.
- d) La construcción con dos núcleos.

De los procedimientos anteriores el más empleado en el primero, y será el único que se exponga.

La compensación consiste en ajustar la relación de espiras de tal manera de lograr la relación de transformación exacta.

La compensación únicamente modifica el factor de corrección de la relación (o el error de relación) y no ángulo de fase.

Se verán los casos de compensación:

- Compensación con número entero de espiras.
- Compensación con número fraccionario de espiras.

Compensación con número entero de espiras.- Supongamos primeramente un transformador de corriente perfecto, es decir sin corriente de excitación, en este caso evidentemente no se tendrá ningún error y el factor de corrección de la relación sera 1.

Tomemos por ejemplo, un transformador de corriente con 1 espira primaria y 100 espiras secundarias.

Si el transformador de corriente es perfecto, la corriente secundaria sería:

$$n_2 I_2 = n_1 I_1$$

$$I_2 = \frac{I_1}{100}$$

Si se quita a este transformador perfecto una espira, la corriente secundaria se vuelve:

$$I'_2 = \frac{I_1}{99}$$

de donde:

$$I'_2 = \frac{100}{99} I_2$$

y

$$I'_2 = I_2 + \frac{1}{99} I_2$$

$$I'_2 = I_2 + 1\% I_2$$

La corriente secundaria sería 1% mayor a la nominal, cometiendo el transformador un error sistemático, constante y negativo de 1%.

En un transformador de corriente real, la corriente de excitación jamás es nula, y por lo tanto la corriente secundaria siempre es menor que la nominal, produciéndose un error positivo.

Como se puede observar, si el transformador de --

corriente se compensa, el error positivo se puede anular o reducir.

Como las normas admiten que el error de relación quede comprendido entre dos límites iguales con respecto al cero de error, los transformadores se pueden calcular aprovechando ese margen de error permitido.

No siempre es posible reducir el número de espiras del secundario en el porcentaje deseado. Este método evidentemente no puede ser practicado más que cuando se quitan un número entero de espiras.

Supongamos un transformador de corriente relación 500:5 (con  $n_1 = 1$  y  $n_2 = 100$ ) con una clase de precisión 0.3 y el cual tiene un RCF de 1.004, o sea tiene un error de + 0.4%, si a este transformador lo compensamos con 1 espira, la compensación sería como se ha visto de  $C = -1.0\%$ .

Con esta compensación en nuevo error sería.

$E' = 0.4 - 1.0 = -0.6\%$  o sea tendría un RCF de --- 0.994 y el aparato no entraría en la clase 0.3.

Si no se dispusiera de otro método de compensación para realizar este aparato en la clase 0.3 sin compen

sación sería necesario aumentar la sección del circuito magnético.

Sin embargo se puede recurrir a la compensación por espira fraccionaria.

Supongamos que sustituimos las 100 espiras secundarias por 2 x 100 espiras en paralelo, la corriente se reparte en 2 partes iguales de 2.5 A.

Si ahora quitamos una espira en uno de los dos devanados, se quitan 2.5 Amperes x 1 espira = 2.5 AV. del conjunto o sea:

$$\frac{2.5 \text{ AV}}{500 \text{ AV}} = 0.5 \%$$

y se tendrá:

$E' = 0.4 - 0.5 = -0.1$  o sea tendrá un RCF de 0.99 y el aparato entra dentro de la clase.

Cuando se desea tener aun una compensación más fina, se pueden poner 2 devanados en paralelo pero cada uno de ellos con conductor de diferente calibre.

Si se supone que los dos conductores de cada devanado tiene igual longitud, la compensación será:

$$C_8 = \frac{100}{n_2} \cdot \frac{S_2}{S_1 + S_2}$$

Siendo  $S_1$  = Calibre del conductor del devanado de  $n_2$

$S_2$  = Calibre del conductor del devanado de  $n_2 - 1$

### 1.3. CÁLCULO DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

El problema general de cálculo o dimensionamiento consiste, en determinar todas las dimensiones para que el aparato responda al conjunto de condiciones impuestas.

Estas condiciones se pueden agrupar de la siguiente manera:

- a) Exigencias de precisión.
- b) Condiciones impuestas por la tensión nominal de aislamiento.
- c) Condiciones de calentamiento en operación normal y de sobre carga.
- d) Las condiciones de corto-circuito.

Se darán algunas nociones indispensables de las tres últimas condiciones para comprender el cálculo de la precisión.

La tensión nominal de aislamiento define las con



diciones de las pruebas dieléctricas y por consiguiente - las distancias entre piezas bajo tensión y la tierra, etc. que permitirá a un modelo determinado funcionar sin problemas en el sistema al que está destinado. En un transformador de corriente, la tensión nominal condiciona únicamente el aislamiento que debe ser previsto entre el devanado primario y el devanado secundario. Las tensiones que se presentan entre salidas primarias, así como las que se presentan entre salidas secundarias no tienen nada en común con la tensión nominal de aislamiento.

El transformador de corriente para alta tensión puede ser considerado como constituido por dos devanados, - cada uno de los cuales puede ser tratado como devanado de baja tensión ya que las tensiones entre salidas no sobrepasan algunos centenares de volts, pero estos dos devanados deben estar separados por un espesor de aislamiento suficiente para soportar las tensiones y sobre tensiones que pueden existir en el sistema.

Las condiciones normales de calentamiento exigidas a un transformador de corriente son poder soportar en permanencia 1 ó 1.2 veces la corriente nominal, sin exceder un límite de temperatura especificado. En la mayoría de los casos si se trabaja a una densidad de corriente de

2 AMPS/mm<sup>2</sup> se logra obtener esta condición.

Las condiciones de corto circuito definen la -- corriente máxima que puede llegar a soportar el transformador de corriente durante un tiempo muy corto (generalmente 1 a 5 seg.) cuando se produce un corto circuito en la línea a la que está conectado. Estas corrientes de corto circuito que pueden llegar a tener algunas decenas de K.A. producen en las terminales y en el seno del primario esfuerzos mecánicos que alcanzan algunas toneladas.

Solamente después de pruebas, a cada modelo, se le atribuye un número máximo de KAV de corto circuito que el transformador puede soportar sin sufrir daños. Igualmente la corriente de corto circuito causa un calentamiento en los bobinados que puede dañar al transformador. Las normas admiten una densidad de corriente de 140 AMPS/mm<sup>2</sup> para una duración del corto circuito de 1 seg.

### 1.3 CALCULO DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

#### 1.3.1. Cálculo de transformadores para medición.

- a) Sección de los conductores del devanado primario.- Se conoce  $I_{1n}$  y se decide la densidad de corriente, por ejemplo 2 AMPS/mm<sup>2</sup>, obteniéndose un valor  $S_1$  mínimo. Si se especifican unas

condiciones de corto circuito, se conoce la corriente de corto circuito térmica y la densidad de corriente en un segundo, o sea ---- 140 AMPS/mm<sup>2</sup>, se calcula un segundo valor de S<sub>1</sub>. Evidentemente, se adoptará el valor S<sub>1</sub> mayor, el cual satisficará simultáneamente las dos condiciones.

- b) Selección de los Ampere-vuelta nominales: En caso de un transformador tipo barra, los ampe re vuelta son iguales a I<sub>1n</sub>. En el caso de -- un transformador tipo primario bobinado, se se leccionarán los Ampere-vuelta máximos posibles.

Las condiciones de corto circuito imponen un límite: para un modelo seleccionado, se conoce los ampere-vuelta máximos de corto circuito -- (KAV) para el mismo, entonces:

$$n_{1\max} = \frac{(KAV)\max}{I \text{ din.}}$$

Siendo I<sub>din</sub> = corriente dinámica de corto cir cuito.

Por otro lado, para el modelo seleccionado, también se conoce el espacio disponible para

alojar el devanado primario, y se ha seleccionado  $S_1$ , por lo cual será necesario que  $n_1.S_1$  se pueda alojar en ese espacio.

El número de espiras primarias se seleccionan -- entonces de tal manera que se cumplan estas dos condiciones.

- c) Sección de los conductores del devanado secundario.- De igual forma que para el devanado primario, se selecciona una densidad de corriente de  $2 \text{ AMPS/mm}^2$ , si los AV nominales son elevados, se puede seleccionar una menor densidad de corriente con objeto de reducir el consumo interno.

Si se toma la densidad de  $2 \text{ AMPS/mm}^2$  automáticamente se permite tener una corriente térmica de corto circuito secundaria de 70 veces la -- corriente nominal durante un segundo.

Si la corriente térmica de corto circuito es -- mayor a este valor la sección del conductor del secundario se calculará con  $140 \text{ AMPS/mm}^2$  de --- densidad de corriente durante 1 seg.

d) Consumo interno del secundario. Si aún no se conoce la sección del núcleo, no se puede calcular exactamente la longitud de una espira del secundario, y por consiguiente no se conoce exactamente la resistencia  $R_2$ . En general el consumo interno es entre 2 y 10 VA. Se toma como primera aproximación 5 VA.

f) Cálculo de la precisión para medición. El modelo del transformador seleccionado fija el espacio disponible para el devanado secundario y el núcleo, teniéndose para este último dimensiones estandarizadas de diámetros y altura, pudiéndose calcular con estos datos la sección bruta y el peso bruto y neto:

$$S = \frac{D-d}{2} \times h$$

$$P_b = \frac{D^2 - d^2}{4} \times \pi \times h \times \delta_n \times 10^{-3}$$

siendo:  $D$  = diámetro mayor en cm

$d$  = diámetro menor en cm

$h$  = altura en cm

$\delta_n$  = densidad de la lámina de acero al silicio = 7.65 dm<sup>3</sup>/kg.

$P_b$  = peso bruto del núcleo

$P_n$  = peso neto del núcleo

$$P_n = P_b \times \text{F.A.}$$

F.A. = Factor de apilamiento.

A continuación se calcula la fuerza electromotriz inducida  $E_2$  suponiendo un consumo interno (para cada carga)

$$E_a = (z_c + z_2) I_2$$

$z_c$  = impedancia de la carga

$z_2$  = impedancia interna generalmente =  $R_2$

Para 1/10 y 10/10 de  $I_{2n}$ .

Con estos valores se calcula la inducción para cada régimen de corriente:

$$\beta = \frac{E \times 10^{-6}}{2.4 \times S \times N_2}$$

y por medio de las curvas de la laminación se obtendrán los ampere vueltas de excitación, magnetizantes y de pérdidas:

$$N_2 I_0 = \frac{\text{VA/KG} \times P_n \times N_2}{E_2}$$

$$N_2 I_\mu = \frac{\text{VAR/KG} \times P_n \times N_2}{E_2}$$

$$N_2 I_w = \sqrt{(N_2 I_0)^2 - (N_2 I_\mu)^2}$$

para régimen de corriente.

Se procede a continuación a calcular los errores de relación y ángulo de fase

$$E_s = \frac{100}{n_2 I_2} (n_2 I_w \cos \psi_2 + n_2 I \mu \sin \psi_2)$$

$$\delta_{\min} = \frac{3438}{n_2 I_2} (n_2 I \mu \cos \psi_2 - n_2 I_w \sin \psi_2)$$

Finalmente se procura centrar los errores por medio de la compensación de espiras.

Ejemplo de cálculo: Verificar si un núcleo con:

- diam. ext. = 15 cm.
- diam. int. = 10 cm.
- altura = 5 cm.

trabajando a 1200 ampere-vueltas nominales puede dar la clase de precisión para medición de 0.3 con cargas B 1.0 y B 2.0.

$$S = \frac{D-d}{2} \times h = \frac{15-10}{2} \times 5 = 12.5 \text{ cm}^2$$

$$P_b = \frac{(D^2-d^2)}{4} \times \pi \times h \times \delta_n \times 10^{-3}$$

$$= \frac{15^2-10^2}{4} \times \pi \times 5 \times 7.65 \times 10^{-3} = 3.76 \text{ KG}$$

$$P_b = 0.9 \times 3.76 = 3.38 \text{ KG}$$

Se supone un consumo interno de 5 VA (0.2 ohms)

Se puede hacer la siguiente tabla de valores

	$I_2$	$E_2$	$\beta$	VA/KG	VAR/KG	$N_2 I_0$	$N_2 I_1$	$N_2 I_w$
CARGA	AMPS	VOLTS	Tesla					
B 1.0	5	6	$8.33 \times 10^{-2}$	$5.7 \times 10^{-3}$	$4.8 \times 10^{-3}$	0.771	0.649	0.416
B 1.0	0.5	0.6	$8.33 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-4}$	0.162	0.149	0.064
B 2.0	5	11	$1.53 \times 10^{-1}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$1.25 \times 10^{-2}$	1.254	0.922	0.850
B 2.0	0.5	1.1	$1.53 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^{-4}$	0.236	0.214	0.099

	$I_2$	$N_2 I_2$	E %	$\delta_{min}$
CARGA	AMPS			
B 1.0	5	1200	+0.064	-0.102
B 1.0	0.5	120	+0.134	+0.547
B 2.0	5	1200	+0.102	-0.788
B 2.0	0.5	120	+0.196	+0.609

### 1.3.2. CALCULO DE TRANSFORMADORES PARA PROTECCION

El cálculo de transformadores de corriente para protección es similar al cálculo de los de medición en lo referente a la sección de conductores y ampere-vueltas nominales y solo difiere en el cálculo de la precisión.

Cálculo de la precisión para protección. Como se ha visto el error de relación permitido es de 10% a veinte veces la corriente nominal y teniendo entre sus terminales una tensión mínima especificada.

El error a 20 In será:

$$E_{\%} = \frac{N_2 I_0}{20 N_2 I_{2n}} \times 100 \leq 10$$



Por lo tanto hay que calcular los ampere-vueltas de excitación a la tensión mínima especificada:

$$\beta = \frac{E_2 \times 10^6}{2.4 \times S \times N}$$

siendo  $E_2 = (Z_c + Z) \times 20 I_{2n}$

con el valor de la inducción así encontrado se entra en la curva de excitación de la laminación y se obtiene:

$$N_2 I_0 = \frac{VA/KG \times P_n \times N_2}{E_2}$$

Ejemplo de cálculo: Suponiendo el mismo núcleo anterior y trabajando a las mismas ampere-vueltas nominales verificar si el aparato es clase c-100.

C-100 corresponde a una carga B 1.0.

Si suponemos este caso  $R_2 = 0.4$

$$E_2 = (1 + 0.4) \times 20 \times 5 = 140 \text{ volts}$$

$$\beta = \frac{140 \times 10^6}{2.4 \times 12.5 \times 240} = 19450 \text{ gauss}$$

de la curva de excitación se obtiene 38 VA/lbs a esta inducción.

$$N_2 I_0 = \frac{38 \times 3.38 \times 240}{0.4536 \times 120} = 566.31$$

$$E_{\%} = \frac{566.31 \times 100}{20 \times 1200} = 2.36\%$$

que es menor a 10%.

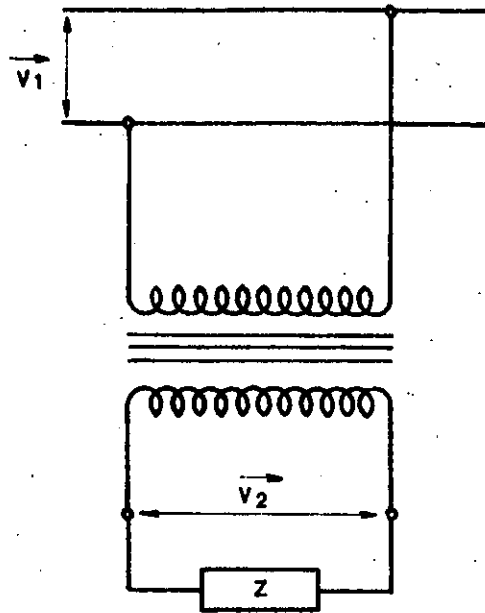
## 2. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

### 2.1 TEORIA DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

2.1.1 Introducción. El transformador de potencial se define como "Un transformador para ser usado con instrumentos eléctricos de medición y/o protección para la transformación de la tensión y en el cual la tensión en el devanado secundario, en condiciones normales de uso, es sustancialmente proporcional a la tensión del devanado primario y difiere de ella en ángulo que es aproximadamente cero, para un sentido apropiado de conexiones".

El transformador de potencial, por lo tanto, se conecta en paralelo entre los dos puntos en donde se desea conocer la diferencia de potencial ya sea entre dos conductores o un conductor y la tierra. En las salidas secundarias, se tendrá la imagen de la tensión aplicada a las salidas primarias. La corriente que circula por el devanado secundario depende de la impedancia de la carga secundaria, que está constituida por el conjunto de aparatos conectados en paralelo a las salidas secundarias.

En un transformador de potencial perfecto, no se producirá ninguna caída de tensión interna, y se tendrá una igualdad entre las tensiones entre terminales de cada devanado y las fuerzas electromotrices inducidas en los mismos. Como



estas fuerzas electromotrices son proporcionales al número de espiras, se tendrá:

$$\frac{\vec{V}_1}{n_1} = \frac{\vec{V}_2}{n_2}$$

y la tensión secundaria será una imagen rigurosamente proporcional a la tensión primaria y en perfecta fase con ella.

En un transformador real, hará falta tener en cuenta las caídas de tensión ohmicas y reactivas. Entre menores sean estas caídas se aprovechará mucho más las propiedades del transformador perfecto.

Por lo tanto, un transformador de tensión se caracteriza por:

- a) Por tener las resistencias y las reactancias de fuga de

los devanados lo más pequeñas posibles.\*

- b) Por tener una corriente de excitación baja y por lo tanto una inducción nominal de valor moderado y fijo.

2.1.2. Características requeridas para los transformadores de potencial. En principio se requiere que los transformadores de potencial trabajen a tensión constante: la del sistema. En la práctica la tensión del sistema tiene ligeras variaciones. Una variación de  $\pm 5\%$  del valor medio puede considerarse como máximo. Evidentemente el valor medio de la tensión depende del punto del sistema donde se instala el aparato, pero con objeto de no tener un número muy grande de valores de tensión primaria nominales, se prefiere garantizar la precisión entre el 90 y 110% de la tensión nominal.

Un transformador de tensión, se define por su tensión nominal primaria  $V_{1n}$  y por su tensión nominal secundaria  $V_{2n}$ . La relación entre estas dos cantidades expresada en forma de fracción simplificada o no se denomina relación nominal de transformación.

Por ejemplo:

$$V_{1n} = 14400 \text{ volts}$$

$$V_{2n} = 120 \text{ volts}$$

$$K_{1n} = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = \frac{14400}{120} = 120$$

La relación real de un transformador de potencial es la relación del valor eficaz de la tensión primaria al valor eficaz de la tensión secundaria bajo condiciones específicas.

Las definiciones de:

Factor de corrección de la relación	F.C.R.
Por ciento de relación	e
Por ciento de error de relación	$E_{\%}$
Angulo de fase	
Factor de corrección del ángulo de fase	
Factor de corrección del transformador y carga	

son las mismas que se dieron para los transformadores de corriente. En los transformadores de tensión el ángulo de fase se designa con la letra  $\gamma$  y el factor de corrección del ángulo de fase se designa como  $K_{\gamma}$ .

Las tensiones secundarias nominales son 120 volts y  $120/\sqrt{3}$  volts aproximadamente.

Las cargas son:

Características de las  
cargas normalizadas  
60 HZ

Características en base  
de 120 V.

Denominación de la carga	VA	F.P.	Resistencia ohms	Inductancia (Henries)	Impedancia ohms
W	12.5	0.1	115.2	3.04	1152
X	25	0.7	403.2	1.09	576
Y	75	0.85	163.2	0.268	192
Z	200	0.85	61.2	0.101	72
ZZ	400	0.85	30.6	0.0503	36
M	35	0.20	82.6	1.07	411

Características en base  
de 69.3 volts

W	12.5	0.1	38.4	1.01	384
X	25	0.7	134.4	0.364	192
Y	75	0.85	54.4	0.0894	64
Z	200	0.85	20.4	0.0335	24
ZZ	400	0.85	10.2	0.0168	12
M	35	0.20	27.4	0.356	137

Como los transformadores de potencial, pueden estar conectados entre fases o entre fase y tierra, y estar expuestos a sobretensiones diferentes según el sistema, las normas americanas ANSI los han dividido en 5 grupos de aislamiento.

GRUPO 1. Para conexión entre fases o fase y tierra aplicando al devanado primario el 100% de la tensión nominal, pueden trabajar al 110% de su tensión nominal en forma continua y al 125% de la misma tensión bajo emergencia. Las tensiones nominales van de 120 volts a 8400 volts.

GRUPO 2. Para conexión principalmente entre fases, pueden conectarse entre fase y tierra siempre y cuando la tensión aplicada al devanado primario no exceda a la tensión nominal primaria dividida entre 1.73. Pueden trabajar al 110% de su ten-

si3n nominal en forma continua. Las tensiones nominales van desde 120 volts a 69000 volts.

GRUPO 3. Unicamente para conexi3n entre fase y tierra, tienen 2 devanados de baja tensi3n. Los aparatos con tensi3n nominal primaria hasta 92 KV deben ser capaces de operar a la tensi3n compuesta ( 3 la tensi3n nominal) durante un minuto sin exceder 175°C su elevaci3n de temperatura. Los aparatos con tensi3n nominal primaria de 138 KV o superior deben ser capaces de operar a 1.4 veces la tensi3n nominal durante el mismo tiempo y la misma elevaci3n de temperatura. Las tensiones nominales van desde 14400 V para un sistema de 25000 V estrella a tierra hasta 431250 V para un sistema de 800000 V estrella a tierra.

GRUPO 4. Para servicio interior. Solo para conexi3n entre fase y tierra. Para operaci3n continua a 110% de su tensi3n nominal. El grupo 4A para operaci3n a aproximadamente el 100% de su tensi3n nominal y en emergencia hasta el 125%. El grupo 4B para operaci3n a aproximadamente el 58% de su tensi3n nominal.

El grupo 4A 2400 V para 4160 V estrella a tierra hasta 8400 para 14560 V estrella a tierra.

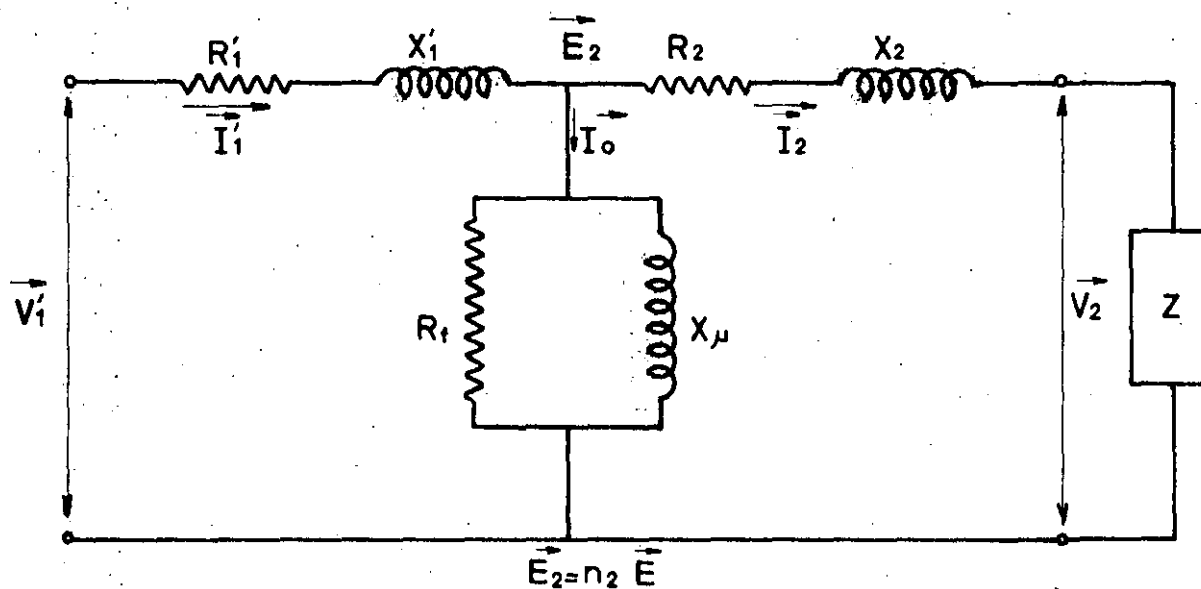
El grupo 4B desde 4200 V para 4160 V estrella a tierra hasta 14400 V para 14400 V estrella a tierra.

GRUPO 5. Para servicio intemperie. Solo para conexi3n entre fase y tierra. Para operaci3n continua a 110% de su tensi3n nominal. Deben ser capaces de operar a 140% de su tensi3n nominal por un minuto sin exceder 175°C su elevaci3n de temperatura.

Las tensiones nominales van desde 7200 V para 12470 V estrella a tierra, hasta 20125 V para 34500 V estrella a tierra.



2.1.3 Ecuaciones del transformador de Potencial. Partiendo del circuito equivalente de un transformador, con todos sus valores referidos al secundario, se tiene:



$$\vec{V}_1 = n_2 \vec{E} + R_1 \vec{I}_1 + j X_1 \vec{I}_1$$

$$\vec{V}_2 = n_2 \vec{E} - R_2 \vec{I}_2 - j X_2 \vec{I}_2$$

La caída de tensión entre  $\vec{V}_1$  y  $\vec{V}_2$  es:

$$\vec{V}_1 - \vec{V}_2 = (R_1 + jX_1) \vec{I}_1 + (R_2 + jX_2) \vec{I}_2$$

pero como:

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_0$$

$$\vec{V}_1 - \vec{V}_2 = (R_1 + jX_1) (\vec{I}_2 + \vec{I}_0) + (R_2 + jX_2) \vec{I}_2$$

$$\vec{V}_1 - \vec{V}_2 = (R_1^1 + jX_1^1) \vec{I}_0 + [(R_1^1 + R_2) + j(X_1^1 + X_2)] \vec{I}_2$$

El factor  $[(R_1^1 + R_2) + j(X_1^1 + X_2)]$  representa la impedancia de corto circuito  $Z_{cc}$ .

Si el transformador trabaja en vacío,  $I_2 = 0$  y la caída de tensión vale únicamente:

$$(R_1^1 + jX_1^1) \vec{I}_0$$

La caída de tensión total con carga es la resultante de:

- La caída de tensión en vacío, que solo depende de la circulación de la corriente de excitación  $I_0$  por el devanado primario con impedancia  $(R_1^1 + jX_1^1)$
- La caída de tensión de la circulación de la corriente  $I_2$  por la impedancia de corto circuito.

La inducción en el núcleo, crea la fuerza electromotriz  $n_2 E$ , que hace aparecer la tensión  $V_2$  en las terminales secundarias, esta  $n_2 E$  vale:

$$n_1 E = 2.4 n_2 \beta S \times 10^{-6} \text{ volts (60 HZ)}$$

Como en el caso de un transformador de tensión se busca mantener lo más bajo posible la diferencia  $\vec{V}_1 - \vec{V}_2$  se puede escribir:

$$V_2 = 2.4 n_2 \beta S \times 10^{-6} \text{ volts}$$

En tanto la carga se mantenga dentro de límites razonables, para una tensión primaria dada, se puede admitir que se trabaja a una inducción constante y por consiguiente la corriente de excitación  $I_0$  es prácticamente la misma en vacío que con carga. Por lo cual es válido dividir la expresión de las caídas de tensión en dos partes y estudiarlas por separado.

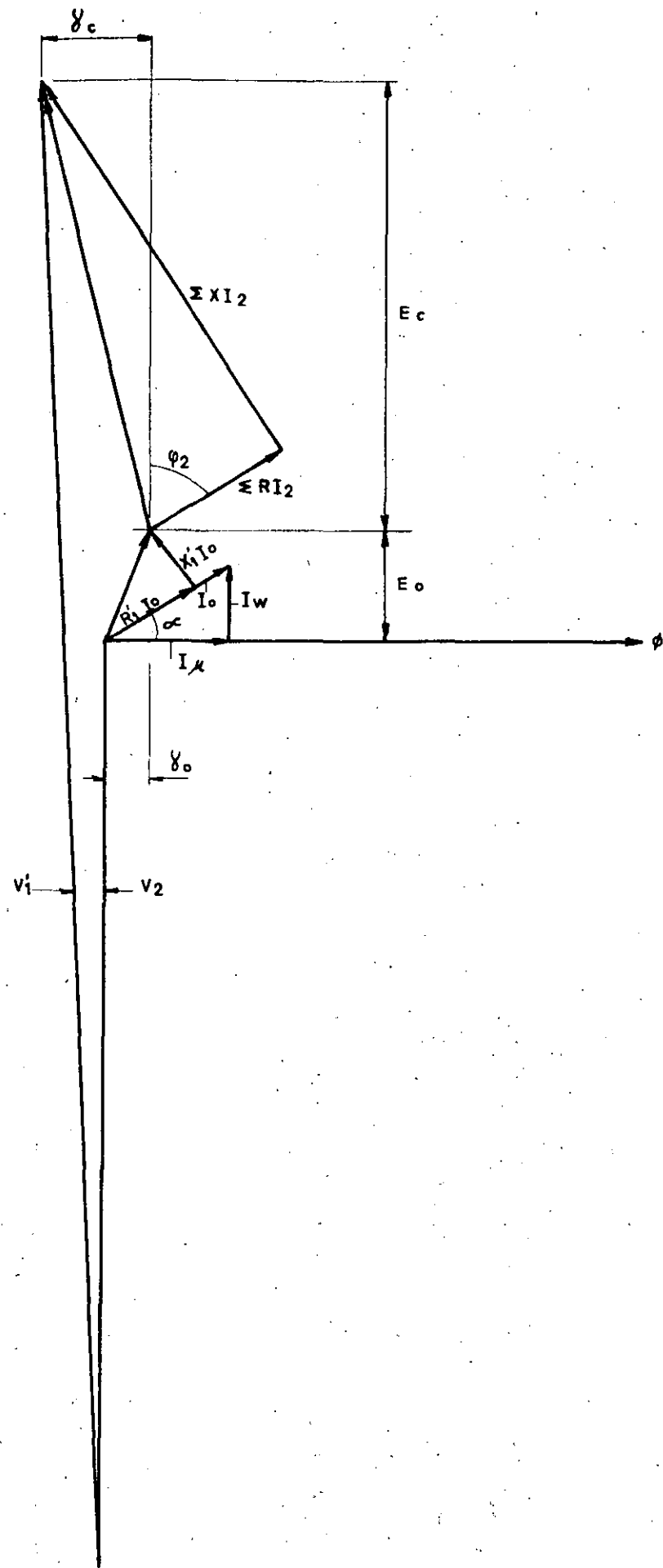
2.1.4 Diagrama vectorial. Tomando como vector base  $\vec{V}_2$  teóricamente el flujo  $\vec{\phi}$  esta en cuadratura con la fuerza electromotriz inducida, pero como  $\vec{V}_2$  y  $\vec{V}_1$  solo pueden estar defasados unos minutos, se puede prácticamente trazar  $\vec{\phi}$  perpendicular a  $\vec{V}_2$ .

La corriente en vacío (excitación)  $\vec{I}_0$  esta adelantada sobre  $\vec{\phi}$  un ángulo  $\alpha$  y como se conoce su dirección, se pueden trazar los vectores:

$$R_1^1 \vec{I}_0 \text{ y } JX_1^1 \vec{I}_0$$

En fase y adelantado  $90^\circ$  de  $\vec{I}_0$ , respectivamente. Se obtiene así el "triángulo de vacío", en el cual la hipotemusa es la caída vectorial de tensión cuando el transformador esta trabajando en vacío.

Cuando el secundario esta conectado a una carga de



impedancia  $Z$ , la corriente vale:

$$I_2 = \frac{\vec{V}_2}{Z}$$

y esta retardada con respecto a  $V_2$   
un ángulo  $\psi_2$  (para carga inductiva,  
que es el caso general).

Partiendo de la extremidad de la hipotemusa del triángulo en vacío, se pueden trazar las dos componentes de la caída de presión debida a la carga:

$$(R_1 + R_2) I_2 \text{ y } J(X_1 + X_2) I_2$$

Que se pueden denominar:

$$\Sigma R I_2 \text{ y } \Sigma J X I_2$$

Obteniéndose así el "triángulo con carga", donde su hipotemusa vale  $Z_{cc} I_2$ , es decir la caída vectorial de tensión debida a la carga  $Z$ .

#### 2.1.5. Cálculo de errores

- a) Error en vacío. Proyectando el triángulo de vacío sobre la dirección de  $V_2$ , se obtiene el error de relación en vacío (en volts).

$$E_{oV} = R_1 I_o \text{ sen } \alpha + X_1 I_o \text{ cos } \alpha$$

pero como:

$$I_w = I_0 \text{ sen } \alpha$$

$$I_\mu = I_0 \text{ cos } \alpha$$

$$E_{0V} = R_1^1 I_w + X_1^1 I_\mu$$

Este error expresado en porcentaje de  $V_2$  queda

$$E_{0\%} = \frac{100}{V_2} (R_1^1 I_w + X_1^1 I_\mu)$$

y proyectando el triángulo de vacío sobre una perpendicular a  $V_2$ , se obtiene el error de fase en vacío:

$$\gamma_{0V} = R_1^1 I_\mu - X_1^1 I_w$$

en porcentaje

$$\gamma_{0\%} = \frac{100}{V} (R_1^1 I_\mu - X_1^1 I_w)$$

y en minutos

$$\gamma_{0\text{min}} = \frac{3438}{V} (R_1^1 I_\mu - X_1^1 I_w)$$

- b) Errores con carga. Por proyección sobre  $V_2$  y perpendicular a  $V_2$  el triángulo de carga se tiene en volts.

$$E_{cv} = I_2 \Sigma R \cos \gamma + I_2 \Sigma x \sin \gamma$$

$$\delta_{cv} = I_2 \Sigma R \sin \gamma - I_2 \Sigma x \cos \gamma$$

y en por ciento y en minutos:

$$E_{c\%} = \frac{100 I_2}{V_2} (\Sigma R \cos \gamma + \Sigma x \sin \gamma)$$

$$\delta_{min} = \frac{3438 I_2}{V_2} (\Sigma R \sin \gamma - \Sigma x \cos \gamma)$$

pero como:

$$(VA)_n = \frac{V_2^2}{Z}$$

Queda finalmente:

$$E_{c\%} = \frac{100 (VA)_n}{V_2^2} (\Sigma R \cos \gamma + \Sigma x \sin \gamma)$$

$$\delta_{min} = \frac{3438 (VA)_n}{V_2^2} (\Sigma R \sin \gamma - \Sigma x \cos \gamma)$$

## 2.2 CLASES DE PRECISION

2.2.1 Clases de precisión. De igual manera que para los transformadores de corriente, las normas ANSI y DGN-NOM, basan la clase de precisión de los transformadores de potencial en el máximo error que el transformador introduce en la medición de potencia o energía.

El factor de corrección del transformador F.C.T. debe estar dentro de los límites especificados cuando el factor de potencia de la carga medida este comprendido entre 0.6 y 1.0, para cualquier carga en VA desde 0 hasta la carga nominal especificada y entre una tensión de 90 a 110 por ciento de la tensión nominal.

Las clases de medición con sus correspondientes límites de factor de corrección del transformador estan dados en la siguiente tabla.

Clase de precisión	F.C.T.	
	mínimo	máximo
0.3	0.997	1.003
0.6	0.994	1.006
1.2	0.988	1.012

Los límites del factor de corrección de la relación son similares a los de los transformadores de corriente.

Los límites del ángulo de fase para los transformadores de potencial, se pueden obtener de forma similar a los de los transformadores de corriente, quedando la expresión:

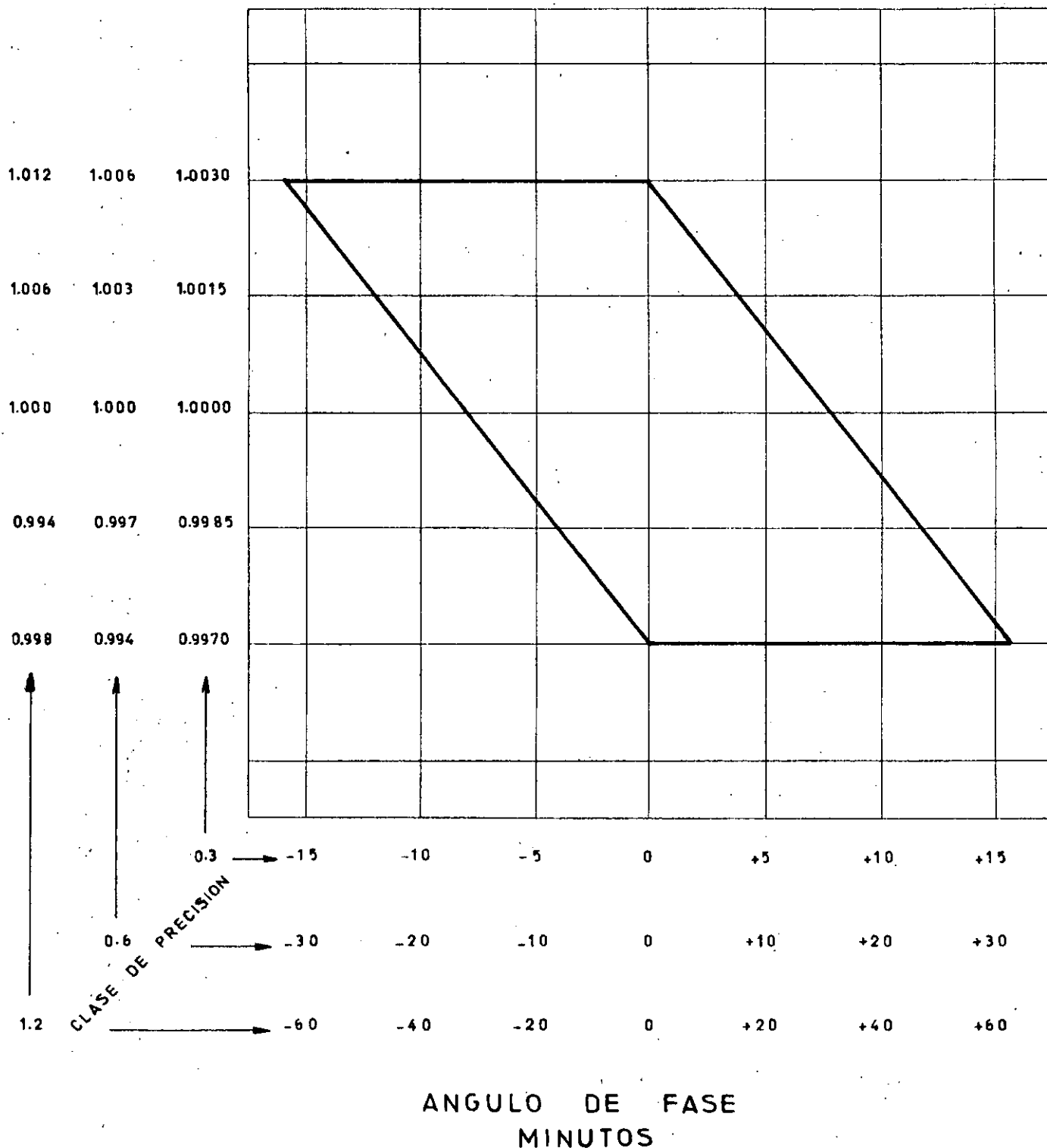
$$\gamma = 2600 (FCT - FCR)$$

ya que 
$$K_{\gamma} = 1 + \frac{\gamma \tan \theta}{3438}$$

Las relaciones entre los límites de los F.C.R., y los ángulos de fase se muestran en los siguientes paralelogramos.



# LIMITES DE LAS CLASES DE PRECISION PARA LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL



2.2.2 Compensación. Los errores de los transformadores de potencial también se pueden reducir ajustando la relación de espiras de tal manera que se obtenga la relación de transformación deseada.

Suponiendo un transformador perfecto se tiene:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

y el transformador no tendría error de relación.

Si a ese transformador perfecto, se le reducen a espiras en el devanado primario:

$$V_2^1 = V_1 \frac{n_2}{n_1 - a}$$

$$V_2^1 = V_1 \frac{n_2}{n_1 \left(1 - \frac{a}{n_1}\right)} = V_1 \frac{n_2}{n_1} \frac{1 + \frac{a}{n_1}}{\left(1 - \frac{a}{n_1}\right) \left(1 + \frac{a}{n_1}\right)}$$

$$V_1 = \frac{n_2}{n_1} = V_2 \text{ y si } a \text{ es pequeño respecto a } n_1$$

$$V_2^1 = V_2 \left(1 + \frac{a}{n_1}\right)$$

Por lo cual la tensión secundaria sería superior en:

$$C = 100 \frac{a}{n_1} \%.$$

u se tendría un error negativo igual a C

En un transformador real, la tensión real secundaria será siempre inferior a la tensión nominal secundaria debido a las caídas de tensión. Si un transformador real tiene un error positivo igual a C y si el mismo se compensa con C se tendrá un error de cero.

### 2.3 CALCULO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

Partiendo de un modelo seleccionado donde ya se tiene fijo el núcleo, los pasos a seguir para calcular un transformador de potencial son:

- a) Selección de la inducción nominal. La inducción nominal se selecciona tomando en consideración el grupo de aislamiento del transformador de tal manera que en condiciones de emergencia no se alcance una saturación elevada.
- b) Determinación de las espiras. Con el valor de la inducción seleccionada se determina el número de espiras secundarias y si necesario, se cambiará el valor de la inducción para tener un número entero de espiras:

$$n_2 = \frac{V_2 n \times 10^6}{2.4 \times S_b \times \beta}$$

y

$$n_1 = n_2 \frac{V_1}{V_2}$$

c) Dimensionamiento del bobinado secundario. Se selecciona un calibre adecuado de alambre secundario de tal manera de que a la potencia de calentamiento del aparato la densidad de corriente no sobrepase 2 AMPS/MM<sup>2</sup>.

Teniendo el diámetro del calibre del conductor y el ancho de la ventana del núcleo, se determinan las espiras por capa y el número de espiras.

Se determina el ancho del bobinado secundario, su espesor, sus diámetros interior, medio y exterior y finalmente se calcula la resistencia secundaria R<sub>2</sub>.

$$R_2 = \frac{\pi \phi_{med} \times N_2 \times \text{ohms/km}}{100}$$

φmed en mts.

d) Dimensionamiento del bobinado primario. Dependiendo de la clase de aislamiento del transformador, del material aislante y de su gradiente máximo de trabajo se determina el espesor del aislamiento entre secundario y primario.

Enseguida se procede a dimensionar la bobina primaria de una manera similar a la secundaria, teniendo en cuenta el aislamiento entre capas que se va a utilizar.

e) Cálculo de las inductancias de fuga. Se calculan dos inductancias de fuga: La inductancia de fuga del primario X<sub>1</sub><sup>1</sup> referido al secundario y la suma de las inductancias

de fuga: la del primario referida al secundario y la del propio secundario.  $\Sigma X = (X_1^1 + X_2)$ . Con las siguientes fórmulas:

$$X_1^1 = \frac{7.9}{10^6} \cdot f \cdot \pi \cdot \frac{N_2^2}{h} \left( \frac{e\phi}{2} + \frac{e_2\phi_2}{3} \right)$$

$$\Sigma X = \frac{7.9}{10^6} \cdot f \cdot \pi \cdot \frac{N_2^2}{h} \left( e\phi + \frac{e_1\phi_1}{3} + \frac{e_2\phi_2}{3} \right)$$

siendo:

f = frecuencia

h = ancho de los bobinados

e = espesor del tubo de aislamiento entre bobinas  
en mts.

$\phi$  = diámetro medio del tubo de aislamiento en mts.

$e_1$  = espesor del bobinado secundario en mts.

$\phi_1$  = diámetro medio del bobinado secundario en mts.

$e_2$  = espesor del bobinado primario en mts.

$\phi_2$  = diámetro del bobinado primario en mts.

f) Determinación de la corriente de excitación. Con el valor de la inducción, las curvas de la laminación utilizada y el peso del núcleo se determinan la corriente de excitación  $I_0$  y sus dos componentes  $I_w$  e  $I_\mu$  a 9/10 y 11/10 de  $V_{2n}$ .

g) Cálculo de los errores. Con las fórmulas vistas, se calcu

los en errores en vacío y con carga, tanto de relación como de ángulo de fase:

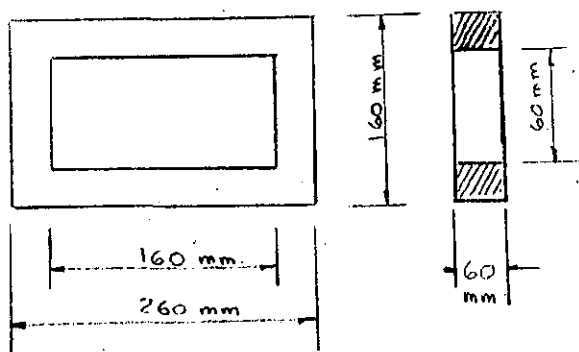
- h) Compensación. Si se hace necesario para centrar los errores dentro de los paralelogramos, se compensa el aparato quitando espiras en el devanado primario:

$$C = 100 \frac{a}{n_1} \%$$

Ejemplo de cálculo.

Transformador de potencial, 15 KV, 110 N.B.I. GR.2 ANSI  
14400/120 V.

El núcleo del modelo seleccionado es el siguiente:



$$S = 6 \times 5 = 30 \text{ cm}^2$$

$$l_m = 64 \text{ cm}$$

$$P = 14.688 \text{ KG}$$

El GR.2 ANSI debe ser capaz de una operación continua a 110% de la tensión nominal.

Si se toma una inducción máxima entre 15 y 16 kilogauss, para este grupo se podrá tener una inducción nominal entre 13.6 y

14.6 kilogauss.

Si se toman 14 kilogauss, se tendrán unas espiras secundarias de:

$$\text{se tiene que: } \beta = \frac{V_2 \times 10^6}{2.4 \times S \times N_2}$$

$$N_2 = \frac{V_2 \times 10^6}{2.4 \times S \times \beta} = \frac{120 \times 10^6}{2.4 \times 20 \times 14000} = 119.05$$

Si se toman 120 espiras para trabajar a 1 volt/espira:

$$\beta = \frac{120 \times 10^6}{2.4 \times 20 \times 120} = 13889 \text{ gauss}$$

$$N_1 \text{ será: } N_1 = \frac{V_1}{V_2} \times N_2 = \frac{14400}{120} \times 120 = 14400$$

El dimensionamiento del bobinado secundario se inicia con el tubo de bobinado.

Si se tiene una sección de núcleo de 5x6 cm., la diagonal vale 7.81cm. Se toma un diámetro interior para el tubo de 79mm., si se da un espesor de 4mm., el diámetro exterior será de 87mm, como la ventana del núcleo es de 160mm, la longitud de este tubo será 158mm.

Se supone una potencia de calentamiento de 500 VA, la corriente secundaria para esta potencia es:

$$I_{2 \text{ cal}} = \frac{500}{120} = 4.17 \text{ amperes}$$

Si tomamos una densidad de corriente de 2 AMPS/mm<sup>2</sup>, la sección mínima del conductor secundario es:

$$S_{\min} = \frac{4.17}{2} = 2.09 \text{ mm}^2$$

se toma un calibre de conductor No. 14 AWG:

$$S = 2.082 \text{ mm}^2$$

diámetro sobre aislamiento: 1.737 mm

resistencia por Km: 8.28 ohms

Dejando un espacio de 10mm contra las piernas del núcleo, se tiene un ancho de bobinado máximo de 140mm y se tendrá:

$$\begin{aligned} \text{No. de espiras por capa} &= \frac{\text{ancho bobinado}}{\text{diámetro conductor} + 5\%} \\ &= \frac{140}{1.737 \times 1.05} = 76.76 \end{aligned}$$

El bobinado se hará en 2 capas de 60 espiras cada una

$$\begin{aligned} \text{Ancho de bobinado} &= \text{No. de espiras por capa} \times \text{diámetro conductor} \times 1.05 \\ &= 60 \times 1.737 \times 1.05 = 109.43 \text{ mm} \end{aligned}$$

Suponiendo un aislamiento entre capas de 0.5 mm se tiene:

$$\begin{aligned} \text{espesor:} & (\text{No. de capas por diámetro cond.} \times 1.05) \\ & + \left( \frac{\text{No. de capas}}{2} \times \text{aisl. entre capas} \right) \end{aligned}$$



espesor:  $2 \times 1.737 \times 1.05 + 1 \times 0.5 = 4.15$  mm

diámetro interior: 79 mm (diámetro exterior tubo)

diámetro medio : 83.15 mm

diámetro exterior: 87.3 mm

Se calcula la resistencia con el diámetro medio:

$$R = \frac{\text{long. media} \times \text{ohms/Km}}{1000}$$

$$\text{long. media en mts} = \frac{\phi_{\text{med}} \times \pi \times N}{1000} = \frac{83.1 \times \pi \times 120}{1000} = 31.33$$

$$R_2 = \frac{31.33 \times 8.28}{1000} = 0.259 \text{ ohms}$$

Si se trabaja a un gradiente de 2500 volts/mm el aislamiento entre bobinados secundario y primario para 15 KV tendrá un espesor de:

$$\text{Espesor tubo AT} = \frac{V}{Gr} = \frac{15000}{2500} = 6 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ interior tubo AT} = 87.3 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ medio tubo AT} = 93.3 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ exterior tubo AT} = 99.3 \text{ mm}$$

Dejando 20mm de aislamiento entre bobinado primario y las piernas del núcleo, se tendrá como ancho de bobinado 120mm.

Para trabajar a la misma densidad de corriente, la sección del conductor primario será:

$$S = 0.02 \text{ mm}$$

diámetro sobre aislamiento: 0.198 mm.

Resistencia por Km: 856.29 ohms

$$\begin{aligned} \text{No. de espiras por capa} &= \frac{\text{ancho bobinado}}{\text{diam. conductor} + 5\%} \\ &= \frac{120}{0.198 \times 1.05} = 577 \end{aligned}$$

$$\text{número de capas} = \frac{14400}{577} = 25$$

$$\text{tensión entre 2 capas} = \frac{14400 \times 2}{25} = 1152 \text{ volts}$$

a un gradiente de 2500 V/mm

$$\text{aislamiento entre 2 capas} = \frac{1152}{2500} = 0.461 \text{ mm}$$

se toma 0.5 mm

$$\begin{aligned} \text{Espesor bobinado} &= (\text{No. capas} \times \text{diám. cond.} \times 1.05) \\ &= \left( \frac{\text{No. capas}}{2} \times \text{aisl. entre capas} \right) \\ &= (25 \times 0.198 \times 1.05) + \left( \frac{25}{2} \times 0.5 \right) = 11.45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{diámetro interior} = 99.3 \text{ mm}$$

$$\text{diámetro medio} = 110.75 \text{ mm}$$

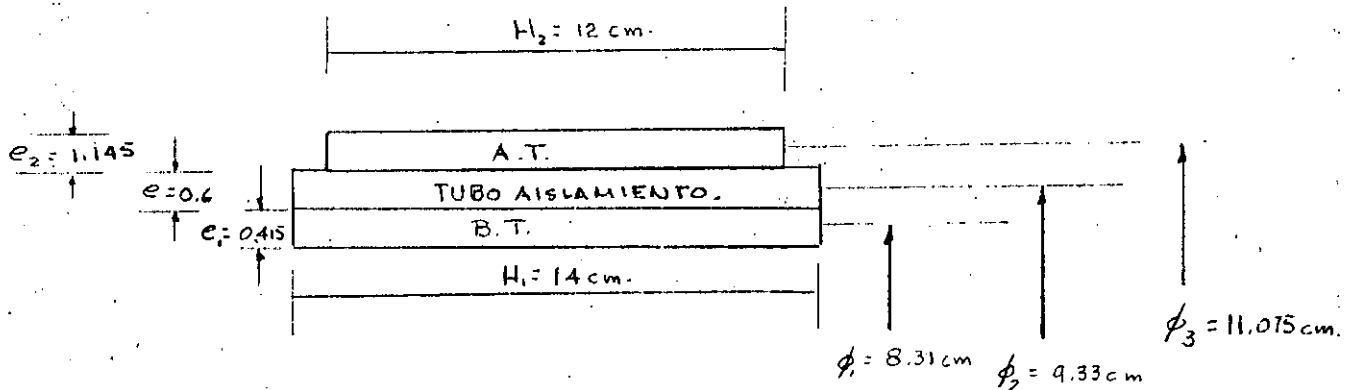
$$\text{diámetro exterior} = 122.2 \text{ mm}$$

$$\text{long. media} = \frac{110.75 \times \pi \times 14400}{1000} = 5010.2 \text{ mts}$$

$$R_1 = \frac{5010 \times 856.29}{1000} = 4290 \text{ ohms}$$

$$R'_1 = \frac{4290}{14400} = 0.298 \text{ ohms}$$

Cálculo de las reactancias de fuga:



$$\Sigma X = 1.49 \frac{N_2^2}{H} \times 10^{-5} \left( e\phi + \frac{e_1\phi_1}{3} + \frac{e_2\phi_2}{3} \right) \text{ ohms}$$

y

$$X' = 1.49 \frac{N_2^2}{H} \times 10^{-5} \left( \frac{e\phi}{2} + \frac{e_2\phi_2}{3} \right) \text{ ohms}$$

$$\Sigma X = 1.49 \frac{120^2}{13} \times 10^{-5} \left( 0.6 \times 9.33 + \frac{0.415 \times 8.31}{3} + \frac{1.145 \times 11.075}{3} \right)$$

$$= 0.181 \Omega$$

$$X' = 1.49 \frac{120^2}{13} \times 10^{-5} \left( \frac{0.6 \times 9.33}{2} + \frac{1.145 \times 11.075}{3} \right)$$

$$= 0.046 \Omega$$

Determinación de las corrientes de excitación

Con la inducción nominal de 13889 gauss y de las curvas de la lámina de acero al silicio utilizada en el núcleo se tiene:

0.52 VA/lb y 0.43 W/lb

considerando el peso de 14.688 y 120 volts se tiene:

$$I_o = \frac{0.52 \times 2.2 \times 14.688}{120} = 0.140 \text{ amps}$$

$$I_w = \frac{0.43 \times 2.2 \times 14.688}{120} = 0.116 \text{ amps}$$

$$I_\mu = \sqrt{I_o^2 - I_w^2} = 0.078 \text{ amps}$$

Se puede considerar que las corrientes varían proporcionalmente a las tensiones en el rango de 0.9 y 1.1 Vn por lo que se tendrá:

a	0.9 Vn	$I_w = 0.104 \text{ amps}$	$I_\mu = 0.071 \text{ amps}$
y	a 1.1 Vn	$I_w = 0.128 \text{ amps}$	$I_\mu = 0.086 \text{ amps}$

Cálculo de los errores en vacío

Con las fórmulas:

$$E_s = \frac{100}{V_2} (R'_1 I_w + X'_1 I_\mu)$$

y

$$\delta_{\min} = \frac{3438}{V} (R'_1 I_\mu - X'_1 I_w)$$

Se tiene

para	9/10 Vn	$E_{\%} = 0.032 \%$	$\delta_{\min} = 0.522 \text{ min}$
para	11/10 Vn	$E_{\%} = 0.032 \%$	$\delta_{\min} = 0.514 \text{ min}$

Cálculo de errores con carga

Tomando por ejemplo la carga Y (75 VA cos  $\psi = 0.85$ ) y las fórmulas:

$$E_{\%} = \frac{100 \text{ VA}}{V_{2n}^2} (\Sigma R \cos \psi_2 + \Sigma X \sin \psi_2)$$

$$\delta_{\min} = \frac{3438 \text{ VA}}{V_{2n}^2} (\Sigma R \sin \psi_2 - \Sigma X \cos \psi_2)$$

se tiene  $E = 0.296\% \quad \delta_{\min} = 2.5 \text{ min}$

para z (200 VA cos  $\psi = 0.85$ )

$$E = 0.789\% \quad \delta_{\min} = 6.7 \text{ min}$$

El error total es la suma de error en vacío más error con carga:

para y  $E = 0.328 \quad \delta_{\min} = 3 \text{ min}$

para z  $E = 0.821 \quad \delta_{\min} = 7.2 \text{ min}$

Para centrar los errores en el paralelogramo de 0.3 se tiene:

en vacío:  $-0.3 = 0.032 - C$

en y:  $+0.3 = 0.328 - C$

sumando  $0 = 0.360 - 2C$

$$C = 0.18$$

y por lo tanto:

$$E_{\text{vacio}} = -0.148 \% \delta = +0.52 \text{ min}$$

$$E_Y = +0.148 \% \delta = +3 \text{ min}$$

o bien

$$RCF_{\text{vacio}} = 0.9985 \delta = +0.52 \text{ min}$$

$$RCF_Y = 1.00148 \delta = +3 \text{ min}$$

El número de espiras primarias reales será:

$$C_{\%} = 100 \frac{a}{N_1}$$

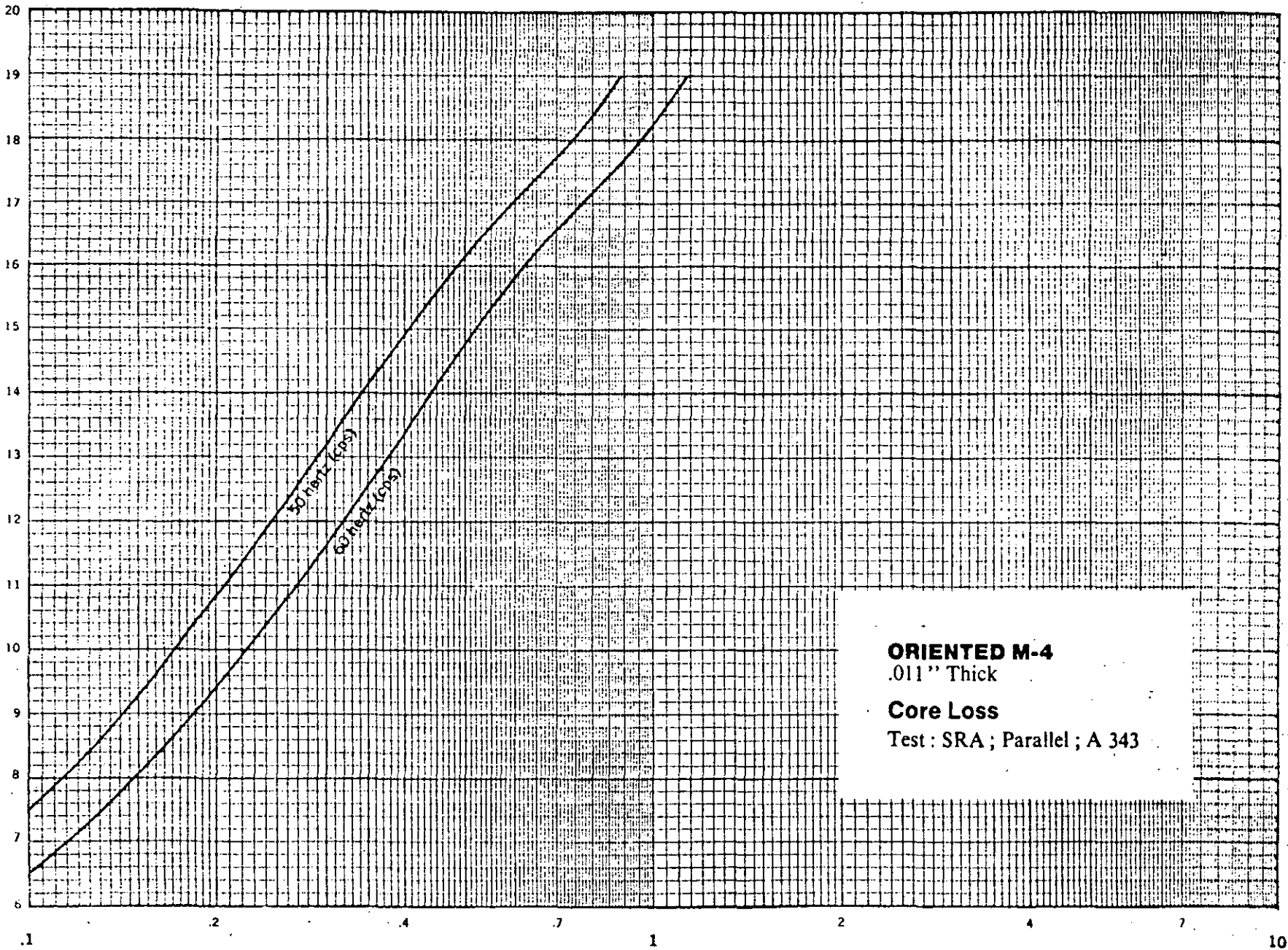
$$a = \frac{0.18}{100} \times 14440 = 26$$

y  $N_1 = 14400 - a = 14374 \text{ espiras}$

## BIBLIOGRAFIA

1. NORMA ANSI C.57.13-1978. REQUIREMENTS FOR INSTRUMENT TRANSFORMERS.
2. NORMA DGN-NOM-J-109 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE
3. NORMA DGN-NOM-J-168 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL
4. FUNDAMENTOS DE TEORIA Y SELECCION DE TRANSFORMADORES PARA MEDICION. A. CARDENAS L.
5. PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE MEDICION. PEDRO MAIGLER-ANTONIO CARDENAS.
6. MANUAL OF INSTRUMENT TRANSFORMERS G.E. GET-97-D
7. INSTRUMENT TRANSFORMERS TECHNICAL DATA WESTINGHOUSE 44-060
8. INTRODUCTION TO INSTRUMENT TRANSFORMERS. JENKINS GEORGE NEWNES LIMITED.
9. TRANSFORMADORES PARA LA INDUSTRIA ELECTRICA. BEAN, CHACKAN, MOORE y WENTS.MC GRAW HILL
10. STATIC ELECTROMAGNETIC DEVICES. HUNT-STEIN. ALLIN AND BACON

INDUCTION (B) - Kilogausses

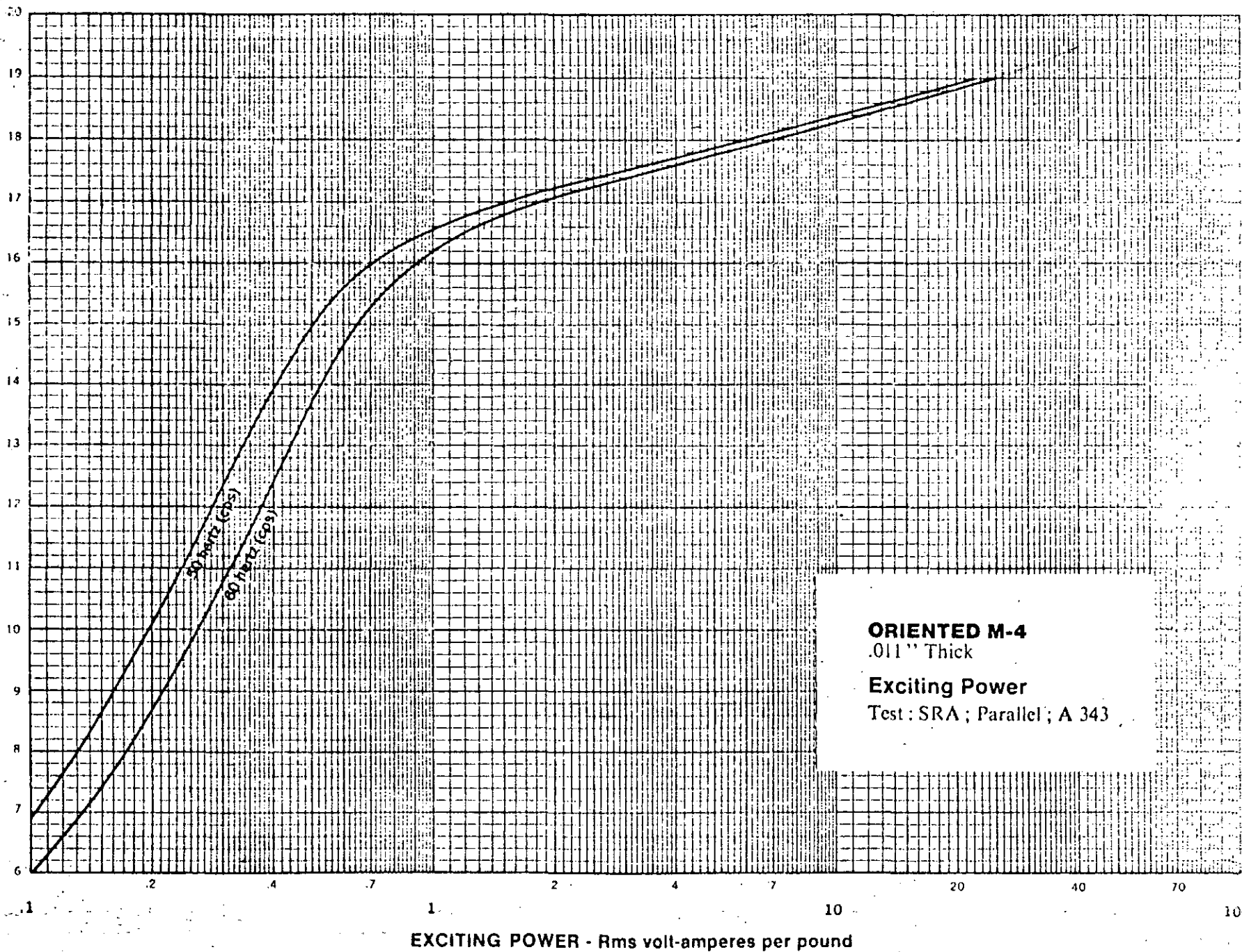


**ORIENTED M-4**  
 .011" Thick  
**Core Loss**  
 Test : SRA ; Parallel ; A 343

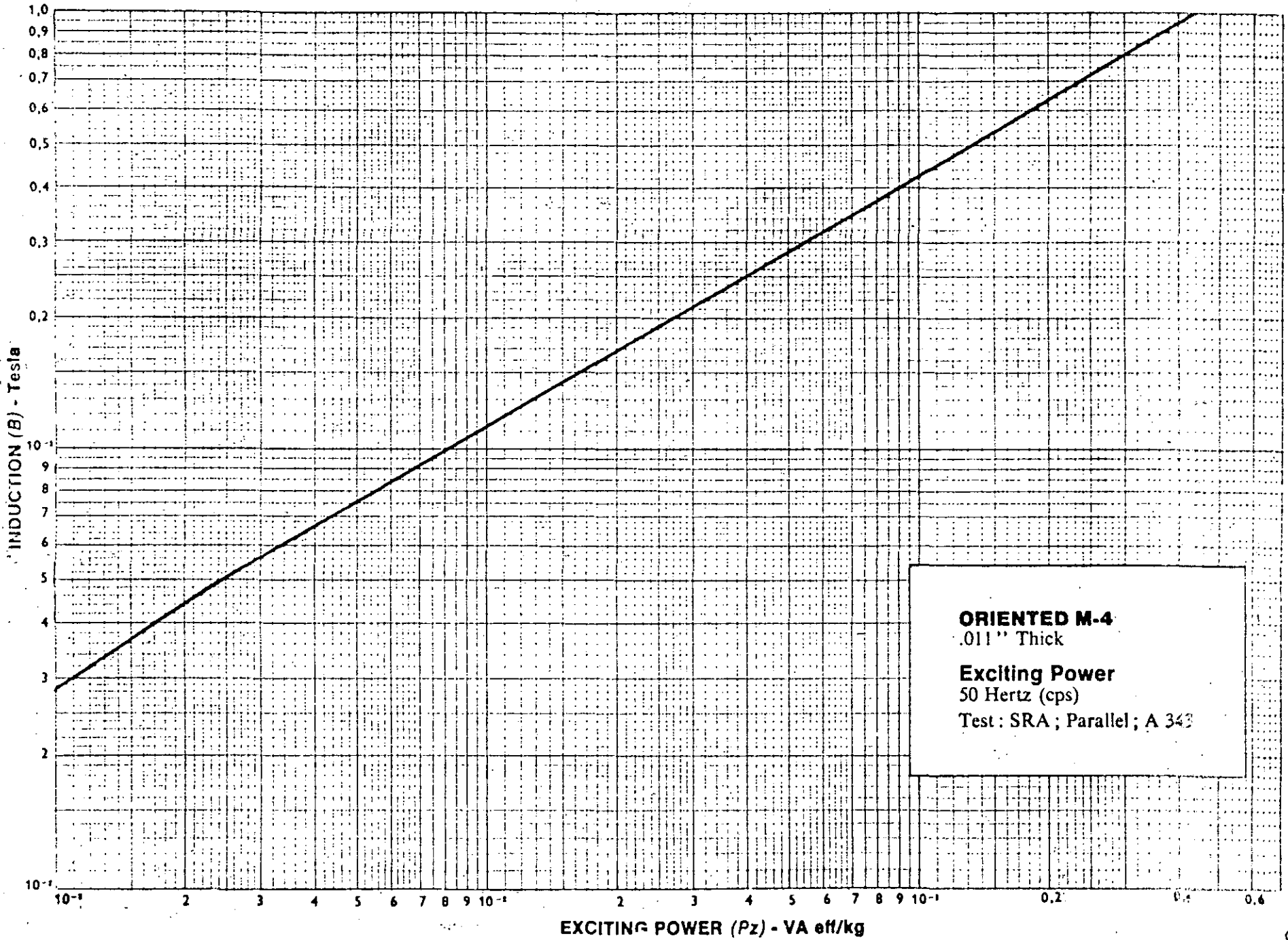
CORE LOSS (Pc) - Watts per pound

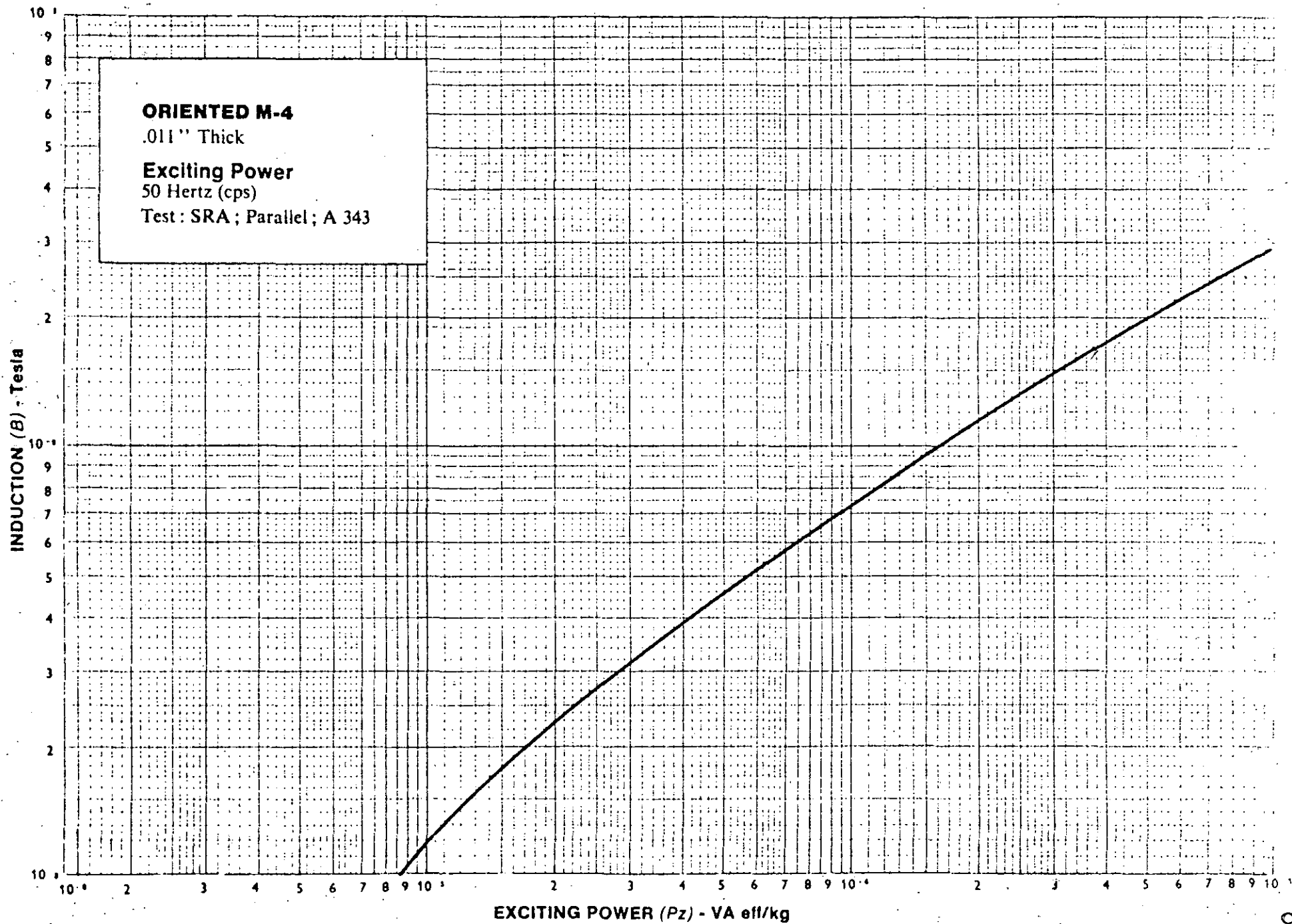


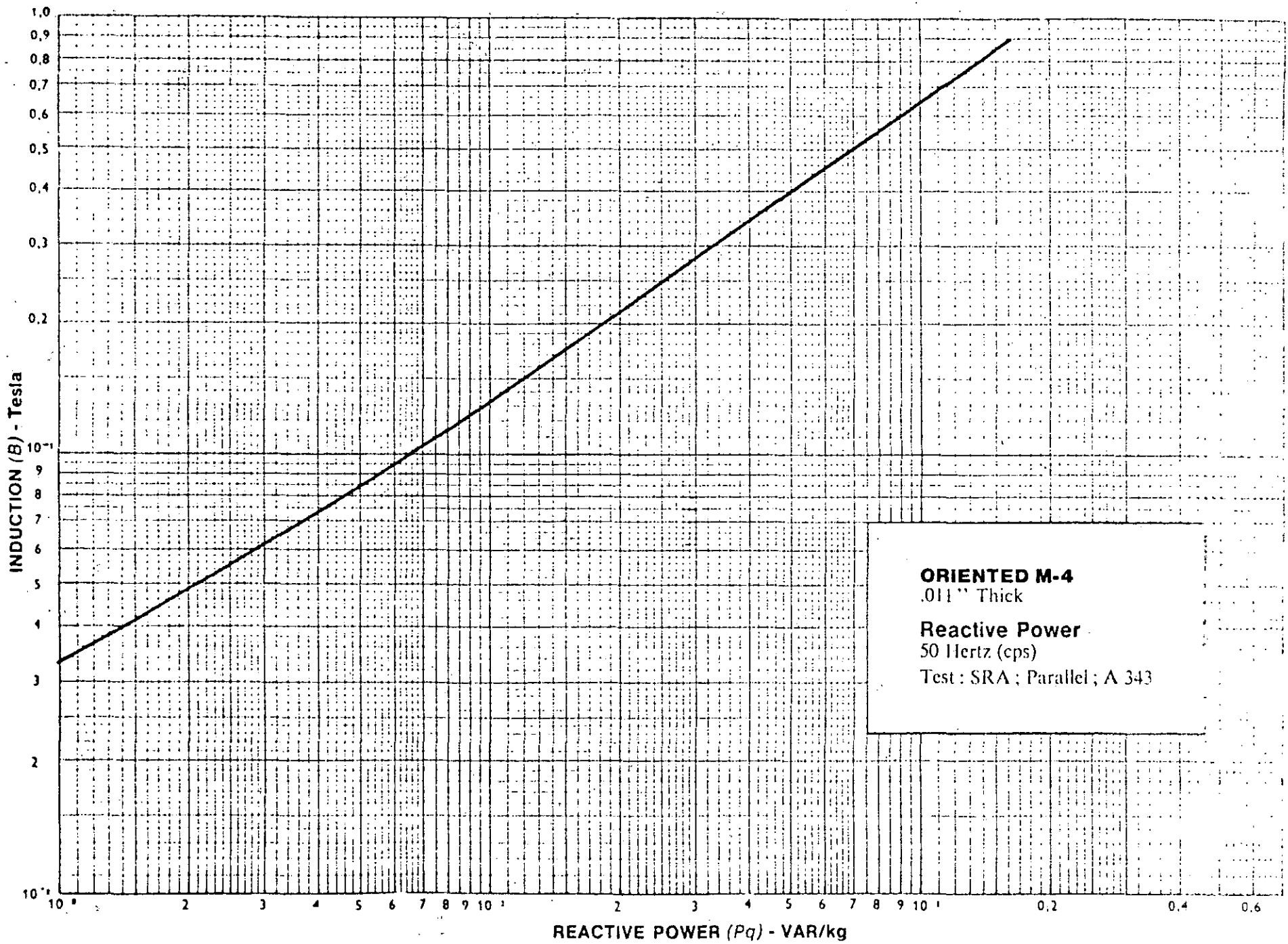
INDUCTION (B) - Kilogausses



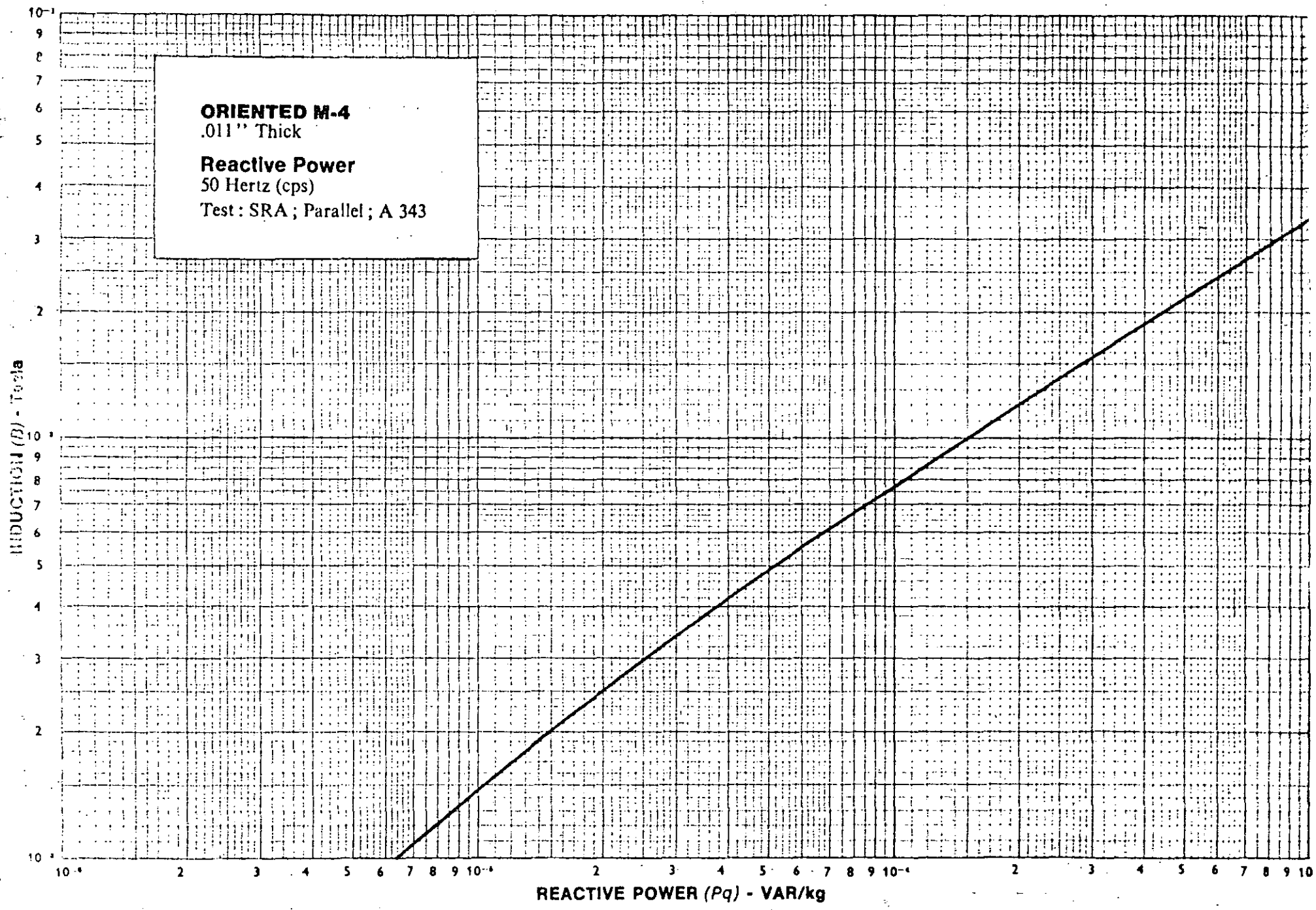
**ORIENTED M-4**  
.011" Thick  
**Exciting Power**  
Test: SRA; Parallel; A 343







**ORIENTED M-4**  
.011" Thick  
**Reactive Power**  
50 Hertz (cps)  
Test : SRA ; Parallel ; A 343





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

**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO**

**INTERRUPTORES DE CARGA  
TIPO ALDUTI**

**ING. ALBERTO VILLAGRAN URRUTIA**

**OCTUBRE, 1984**

## CONSTRUCCION

Los interruptores de carta tipo alduti fueron manufacturados en el país por Sociedad Electromecánica, S.A. - durante varios años y actualmente son fabricados por SyC Slemec, S.A. bajo licencia de S&C Electric Co., Chicago, U. S.A., con un alto contenido de integración nacional, importándose únicamente algunos componentes.

Los interruptores de carga tipo alduti son dispositivos utilizados en instalaciones eléctricas de alta tensión, para conmutar corrientes de carga y magnetizantes, en líneas alimentadoras de distribución, en subestaciones, en puntos de seccionamiento de circuitos eléctricos. Conmutando corrientes de carga de hasta 600 amperes primarios, de transformadores (con carga o sin carga) y bancos de capacitores; además de ser usados para dividir cargas, energizar y desenergizar líneas aéreas o cables subterráneos.

Se fabrican básicamente para dos tipos de servicio interior e intemperie y en tres estilos, de apertura vertical, de simple apertura lateral y de doble apertura lateral.

Los interruptores de servicio intemperie, se elaboran únicamente en los estilos de simple apertura lateral y doble apertura lateral, en clases de aislamiento de 14.4KV y 25KV para el estilo de simple apertura lateral y de 25 y 34.5KV para el estilo de doble apertura lateral.

Tanto los interruptores de servicio interior, así como los de servicio intemperie están diseñados para conducir corrientes nominales de hasta 600 amperes y con capacidad para abrir o cerrar corrientes de carga de hasta 600 amperes, soportando corrientes momentáneas de 40,000 amperes y 25,000 amperes en tres segundos también están diseñados para cerrar circuitos en condiciones de falla, los interiores.

La construcción de los interruptores de carga tipo alduti, está formada básicamente por tres polos y un mecanismo, teniendo ligeras variantes en cuanto a forma, para los servi

cios, intemperie de simple y doble apertura lateral e interior de apertura vertical.

Los interruptores de servicio intemperie, estan formados basicamente por tres polos, cada polo consta de dos o tres columnas de aisladores, dependiendo del estilo de apertura, dos para el simple apertura lateral y tres para el de doble apertura lateral, mismos que van montados sobre una base de acero galvanizada. Cada polo consta de una cuchilla de cobre la cual contiene en un extremo los contactos principales de plata (tanto el fijo y asi como el móvil), tambien cuenta con unos contactos auxiliares, de cobre berilio (el móvil) y de bronce (el fijo), y por último de una cámara interruptiva para la extinción del arco.

La operación de los tres polos, apertura y cierre se realiza por medio de un mecanismo de operación manual, que va montado sobre el poste o la estructura, según sea el tipo de montaje del interruptor, el mecanismo esta hecho a base de piezas de fundición de hierro y utilizando además tubos de acero galvanizado para realizar las uniones de estas partes del mecanismo.

Los interruptores de servicio interior, de apertura vertical para 14.4 y 25KV, se construyen de igual manera que los del tipo intemperie, con excepción del montaje de los polos con la base, ya que en este tipo los tres polos se montan sobre una sola base, tambien de acero galvanizado, cada polo va sobre dos columnas de aisladores, teniendo entre polos, unas barreras o placas, de un material dieléctrico denominado BENELEX; con el objeto de disminuir la distancia entre fases, reduciendo costos en los gabinetes de las subestaciones, compactas o cerradas. Tambien otra variante de este interruptor es el uso de una cadena dentada, en el mecanismo de operación en lugar del tubo galvanizado, para transmitir el movimiento mecánico de la palanca de operación a los polos, dándonos flexibilidad en su instalación.

Los aisladores utilizados en la construcción de los interruptores son de porcelana existiendo basicamente dos tipos, el "Pin Type" denominado tambien de alfiler o campana y el tipo estación, sin embargo en la mayoría de los caso el utilizado es el tipo alfiler. Actualmente se estan realizando pruebas con aisladores hechos a base de resina epóxica y cicloalifática, con resultados de pruebas tanto mecánicas como eléctricas



satisfactorias, por lo que en un futuro no muy lejano, se empezará a utilizar este tipo de aisladores, con un beneficio económico ya que son más baratos que los de porcelana.

La construcción de la base, se hace utilizando acero de 3/16 de pulgada de espesor, la cual una vez terminada en su proceso de maquinado, se galvaniza por el método de inmersión, comunmente llamado "en caliente". La base cuenta con las perforaciones necesarias para su instalación sobre un bastidor o en una estructura, cabe hacer hincapié que en la parte central y en un extremo de la base (parte inferior) las perforaciones se hacen en forma de "SLOTS" aberturas o ranuras ovaladas - con el objeto de facilitar y asegurar un buen ajuste en el campo.

Las cuchillas de los polos del interruptor de carga tipo - alduti, estan hechas de cobre, teniendo una sección de conducción, de suficiente espesor para soportar la corriente nominal y la de apertura de carga, así como, una resistencia mecánica capaz de soportar los fenómenos transitorios que se presenten en el circuito, por otra parte la cuchilla cuenta en uno de sus extremos con los contactos principales de plata, resaltando su diseño denominado de "Multi Contacto" que nos asegura independientemente cuatro puntos de contacto - firme, esto se logra ya que uno de los contactos principales está formado de cuatro pequeños contactos en forma de clips, dos superiores y dos inferiores, cada uno de estos pequeños contactos tiene un sistema de fuelle que asegura aún en el caso de que la cuchilla no se haya cerrado completamente o bien que por desgaste desigual de los contactos, una misma presión de contacto en los cuatro puntos.

Los contactos auxiliares de los interruptores están hechos el móvil de cobre berilio, y el fijo de bronce. El contacto móvil actúa en forma de muelle sobre el contacto fijo asegurando una buena conducción cuando entra en operación con, la cámara interruptiva.

La cámara interruptiva esta formada en su interior por un ingenioso sistema mecánico de levas y resortes, - - así como de un émbolo y una camisa de material orgánico con un alto poder dieléctrico que realizan la función de contactos - móvil y fijo - punto donde se realiza la extinción del arco.

### FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de los interruptores de carga tipo - alduti se realiza a través del mecanismo de operación manual, mismo que transmite un movimiento mecánico a - los polos para que operen simultáneamente.

Al iniciarse la apertura del interruptor, estando toda vía cerrados los contactos principales, se cierran los contactos auxiliares, derivando parte de la corriente por la cámara interruptiva, un instante después, los - contactos principales se separan, sin la formación del arco eléctrico, ya que la totalidad de la corriente, - es derivada hacia la cámara interruptiva, el movimiento del polo, opera un gatillo de la cámara interruptiva - haciendo funcionar con rapidez el mecanismo interno - - de la cámara, liverando el émbolo de la camisa, abriéndose el circuito eléctrico y apareciendo el arco eléctrico, mismo que es extinguido rápidamente en el interior de la cámara, sin que se produzca expulsión de - - flama o arco externo.

La extinción del arco se realiza, en virtud de que cuando aparece, su energía traducida en una fuerte elevación de temperatura, hace que el émbolo orgánico de resina acrílica, desprenda una gran cantidad de gases desionizantes, formándose una atmósfera de alta resistencia - - dieléctrica, cuyo poder aislante es tal, que al pasar - la corriente alterna por cero durante medio ciclo, ya - no se puede restablecer en dirección contraria, extinguiéndose el arco, quedando interrumpido el circuito - - eléctrico.

## OPERACION

Los interruptores de carga tipo alduti, son dispositivos diseñados para operar - abrir o cerrar - circuitos eléctricos trifásicos en forma simultánea las - tres fases.

La operación de interruptor se realiza en forma manual por medio de un mecanismo, a través de una palanca de mando.

En los interruptores de servicio interior la palanca de mando va montada en el frente del tablero, transmitiendo el movimiento mecánico por medio de una cadena a el bastidor o base del interruptor.

En los de servicio intemperie, la transmisión del movimiento se realiza por medio de tubos y coples hasta las bases de los polos, en este tipo de interruptores existe una gran variedad de mecanismos, sin embargo únicamente mencionaremos algunos de ellos, que son los más comunes y los que prácticamente se fabrican y utilizan.

Los mecanismos para la operación de los interruptores son del tipo recíprocante, es decir son aquellos que transmiten un movimiento longitudinal, fabricándose un modelo para cada estilo (simple o doble apertura lateral), así como para cada tipo de montaje (horizontal o vertical) y forma de montaje (un poste, dos postes o estructura). A continuación mostraremos una tabla de mecanismos con su número de catálogo.

MECANISMOS DE OPERACION PARA INTERRUPTORES ALDUTI DE:

## a) Simple apertura lateral

<u>Montaje</u>	<u>Horizontal</u>	<u>Vertical</u>
Un poste	ED-114	ED-112
Dos postes	ED-122	ED-119
Estructura	ED-125	ED-119

## b) Doble apertura lateral

<u>Montaje</u>	<u>Horizontal</u>	<u>Vertical</u>
Un poste	ED-25	ED-23
Dos postes	ED-33	ED-31
Estructura	ED-37	ED-31

Como ya se mencionó la operación de los alduti se realiza en forma manual a través de un mecanismo recíprocante; no obstante también se puede realizar eléctricamente por medio del moto operador eléctrico de la S&C para lo cual se requiere de un mecanismo de operación rotante, sin embargo esta aplicación es muy rara y por otro lado su costo aumenta notoriamente.

## SELECCION

Las cuchillas tradicionales para alta tensión no pueden cerrarse en un circuito eléctrico, sin el peligro para el operador, ni mucho menos abrirse con carga. Al separarse sus contactos no se interrumpe la corriente de inmediato, puesto que se forma un arco voltáico, a través del cual sigue fluyendo la corriente, esto representa un problema y una inseguridad en el punto de seccionamiento, ya que el arco puede llegar a saltar a tierra o a una fase adyacente originando un corto circuito en el sistema, en el caso menos grave, el arco (en proceso de extinguirse) se restablece repetitivamente, dando origen a voltajes transitorios de recuperación (VTR); que son perjudiciales a los demás equipos instalados en el sistema. Por tal motivo las cuchillas tradicionales tienen limitaciones de operación y de montaje, aún las que van provistas con cuernos de arqueo ya que solo pueden interrumpir corrientes muy reducidas.

Los interruptores de carga tipo Alduti tienen una gran versatilidad en aplicaciones físicas, reportando importantes ventajas para el usuario, ya que como no producen arco externo, pueden ser montados en subestaciones o en gabinetes metálicos, en cualquier posición sin el peligro de las cuchillas convencionales. También como la interrupción del circuito, se logra en el primer ciclo, cuando la corriente pasa por cero extinguiéndose el arco instantáneamente en el interior de la cámara.

En virtud de que los interruptores "Alduti" no están limitados por su operación y montaje, la selección de los mismos resulta sumamente sencilla, ya que solamente se toman en cuenta sus características de aplicación.

Para la selección de los interruptores es necesario las características siguientes:

### 1º TIPO DE SERVICIO

- a) Servicio Interior
- b) Servicio Intemperie

## 2º TENSION DEL SISTEMA

## a) Servicio Interior

- 14.4 KV

- 25 KV

## b) Servicio Intemperie

- 14.4 KV

- 25 KV

- 34.5 KV

## 3º CORRIENTE DEL SISTEMA

- 600 Amp.

- 1200 Amp.

## 4º MONTAJE

## a) Servicio Interior

- Gabinetes

## b) Servicio Intemperie

- Horizontal

- Vertical

Conociendo estas características seleccionamos el interruptor Alduti de las tablas siguientes:

## 1.- Servicio Interior

Rangos							Número de Catálogo 2*
KV			AMPERS				
Nom.	Max.	Des.	Bil.	Cont.	Mom	1*	
14.4	17		110	600	40	000	34062
25	27		150	600	40	000	34063

## 11.- Servicio Intemperie

## a) Simple apertura lateral

Rangos						
KV			Ampers			
Nom.	Max.	Des.	Bil	Cont.	Nom 1 <sup>o</sup>	No. de Cat. 2 <sup>*</sup>
14.4	17		110	600	40 000	37012
25	27		150	600	40 000	37012

## b) Doble apertura vertical

Rangos						
KV			Ampers			
Nóm.	Max.	Des.	Bil	Cont.	Nom 1 <sup>*</sup>	No. de cat. 2 <sup>*</sup>
25	27		150	600	40 000	45303
34.5	38		200	600	40 000	45304

1\* 25 000 ampers en 3 seg.

2\* El número de catálogo incluye el mecanismo de operación.

## APLICACION

Como ya hemos mencionado, los interruptores de carga tipo alduti, hacen posible la conmutación de corrientes de carga, en líneas alimentadoras de distribución, en subestaciones y en puntos de seccionamiento, teniendo una gran variedad de aplicaciones.

Las aplicaciones típicas de los interruptores de carga tipo alduti son las siguientes:

- 1.- Desconexión de Transformadores
  - a).- En paralelo
  - b).- Con corrientes de carga
  - c).- Con corrientes magnetizantes
- 2.- Desconexión de Líneas
  - a).- Para dividir cargas
  - b).- Con corrientes de carga
  - c).- Con corrientes de la línea
- 3.- Desconexión de Cables
  - a).- Para dividir cargas
  - b).- Con corrientes de carga
  - c).- Con corriente del cable
- 4.- Desconexión en Bancos de Capacitores Sencillos

En la fig. 2 se ilustra un diagrama de estas aplicaciones típicas.

Para estudiar más a fondo la aplicación que el cliente le va a dar a los interruptores de carga tipo alduti, es necesario recurrir al boletín descriptivo (páginas 24 y 25); localizando en el, las aplicaciones que se requieren en el campo para el caso específico, estas aplicaciones están indentificadas por símbolos. Con estos símbolos recurrimos a la tabla de selección del mismo boletín descriptivo (Pág. 26 y 30) y escogemos el interruptor de carga más adecuado para cubrir las necesidades del cliente.



### Montaje

A diferencia de las cuchillas con cuernos de arco, que requieren de un montaje horizontal con apertura hacia arriba, por la naturaleza ascendente del arco, al irse extinguiéndose; los interruptores de carga tipo alduti pueden montarse en cualquier posición: Horizontal hacia arriba, horizontal hacia abajo, en forma lateral o bien en forma vertical.

Los interruptores de carga tipo alduti servicio interior, generalmente van montados en gabinetes, en forma vertical hacia el frente o hacia los costados y en forma horizontal hacia abajo.

Los de servicio imtemperie van montados, en un poste, dos postes o en estructura en forma horizontal o vertical.

Para realizar el montaje de los interruptores se debe seguir cuidadosamente con el instructivo de instalación que se proporciona junto con el equipo. Dos recomendaciones importantes para la instalación y montaje de los interruptores de carga tipo alduti en el momento de ajustarlo aunque en su instructivo se indica son:

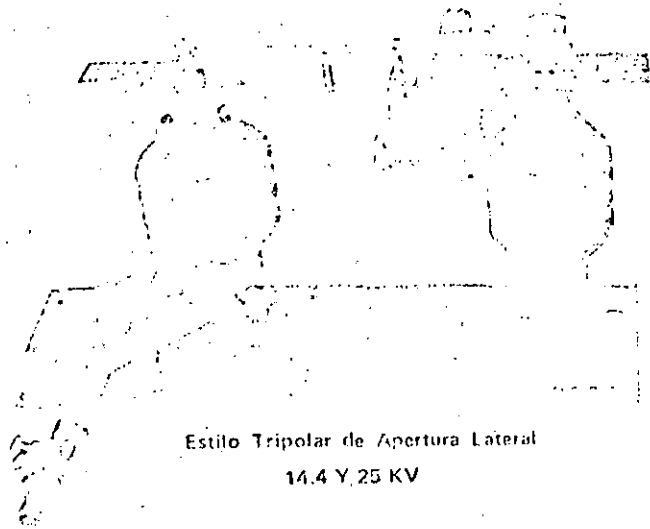
- 1.- Verificar que los contactos auxiliares de la cámara interruptiva se encuentren separados 3/8" cuando el interruptor está completamente cerrado, de lo contrario la corriente pasará continuamente por la unidad interruptiva, la cual esta diseñada exclusivamente para trabajo momentáneo.
- 2.- Verificar que los tornillos perforantes, han sido apretados hasta perforar el tubo, despues de haber ajustado el mecanismo de operación.

### Mantenimiento

Los interruptores de carga tipo alduti, estan constringidos para una larga vida, requiriendo un mantenimiento casi nulo, por lo que podemos decir que estan hechos para

instalarse y olvidarse desde el punto de vista mantenimiento, el termino de vida de la cámara interruptiva es de aproximadamente 500 operaciones a plena carga, siendo muy difícil, que un interruptor llegue a efectuar tantas operaciones en su vida, pero si llegará a ocurrir, la cámara interruptiva puede ser remplazada facilmente.

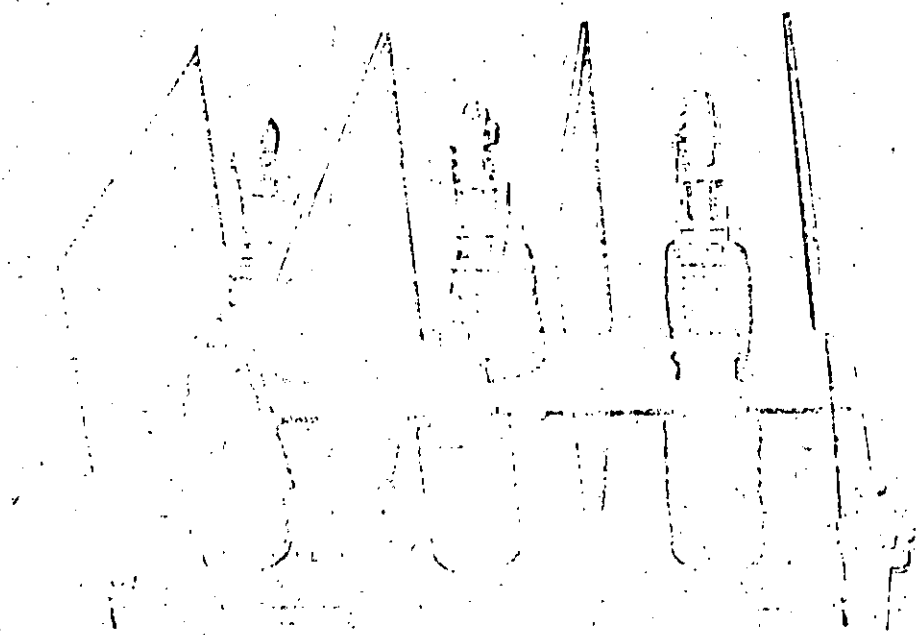
INTERRUPTORES ALDUTI  
SERVICIO INTERPERIE E INTERIOR



Estilo Tripolar de Apertura Lateral  
14.4 Y 25 KV



Estilo Tripolar de Apertura Doble  
25 y 34.5 KV



Estilo Tripolar Apertura Vertical para Servicio Interior  
14.4 Y 25 KV

**SPECIFICATIONS**

APPLICATION CLASSIFICATIONS (See symbols on pages 4 and 6)

Application		Maximum Interrupting Duty	Symbol				
Class	Qualifications		Single-Pole Interrupter Switch		Three-Pole Interrupter Switch		
			Solidly or Effectively Grounded System	Ungrounded System	Solidly or Effectively Grounded System	Ungrounded System	
Transformer Switching	Parallel Switching	‡	A	A	A	A	
	Load Dropping	Three-phase transformer (or three-phase bank of single-phase transformers) connected solidly-grounded-wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side	‡	E	—	E	—
		All other connections of three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) — including autotransformers	‡	G	G	F	F
		Single-phase transformer connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	—	—	—
		Single-phase transformer connected phase-to-phase on the primary (interrupter-switch) side	‡	G	G	—	—
	Magnetizing Current Switching	Three-phase transformer (or three-phase bank of single-phase transformers) connected solidly-grounded-wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side	•	E	—	E	—
		All other connections of three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) — including autotransformers	•	G	G	F	F
		Single-phase transformer connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	•	E	—	—	—
		Single-phase transformer connected phase-to-phase on the primary (interrupter-switch) side	•	G	G	—	—
	Line Switching	Load Splitting (Parallel or Loop Switching)	‡	A	A	A	A
Load Dropping		Three-phase circuits with <i>all</i> load-side three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) connected solidly-grounded-wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side, and <i>all</i> load-side single-phase transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	—	E	—
		Three-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above	‡	G	G	F	F
		Single-phase circuits with <i>all</i> load-side transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	—	—	—
		Single-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above	‡	G	G	—	—
Line Dropping		▲	K	L	K	K	

TABLE CONTINUED →

† Lower values may apply in "conditional applications." Refer to "Conditional Applications" table at bottom of page 3.  
 ‡  $X_1/X_2$  from 0 to 3.0 and  $R_1/X_1$  from 0 to 1.0.  
 • Refers to switching of primary of transformer which remains energized from secondary bus. For applications involving disconnecting a loaded secondary bus from one of two transformers supplying that bus while the primary side of the transformer remains energized, refer to the nearest S&C Sales Office.

‡ Same as continuous-current rating.  
 • Aldon® Interrupter Switches will switch magnetizing currents associated with applicable loads.  
 ▲ Maximum length of line: 100 miles.

APPLICATION CLASSIFICATIONS (See symbols on pages 4 and 6) - Continued

Application		Maximum Interrupting Duty <sup>①</sup>	Symbol				
Class	Qualifications		Single-Pole Interrupter Switch		Three-Pole Interrupter Switch		
			Solidly or Effectively Grounded System	Ungrounded System	Solidly or Effectively Grounded System	Ungrounded System	
Cable Switching	Load Splitting	†	A	A	A	A	
	Load Dropping	Three-phase circuits with <i>all</i> load-side three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) connected solidly-grounded-wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side, and <i>all</i> load-side single-phase transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	-	E	-
		Three-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above	‡	G	G	F	F
		Single-phase circuits with <i>all</i> load-side transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	-	-	-
		Single-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above	‡	G	G	-	-
	Cable Dropping (charging current)	Shielded cable	100 amperes	H	L	H	K
		Unshielded cable	100 amperes	K	L	K	K
Capacitor Bank Switching, Single Bank Only	Grounded capacitor bank	100 amperes	H	L	H	K	
	Ungrounded capacitor bank	100 amperes	L	L	K	K	
Ground Fault Interrupting	Source wye connected, 15.5 kv maximum operating voltage (phase-to-phase), with neutral grounded through a resistance - 13.8-kv interrupter switches only	2000 amperes					
	Transformer-limited or reactor-limited faults, 15.5-kv maximum operating voltage	§					

① Lower values may apply in "conditional applications." Refer to "Conditional Applications" table at bottom of page.

② X<sub>0</sub>/X<sub>1</sub> from 0 to + 3.0 and R<sub>0</sub>/X<sub>1</sub> from 0 to + 1.0.

† Same as continuous-current rating.

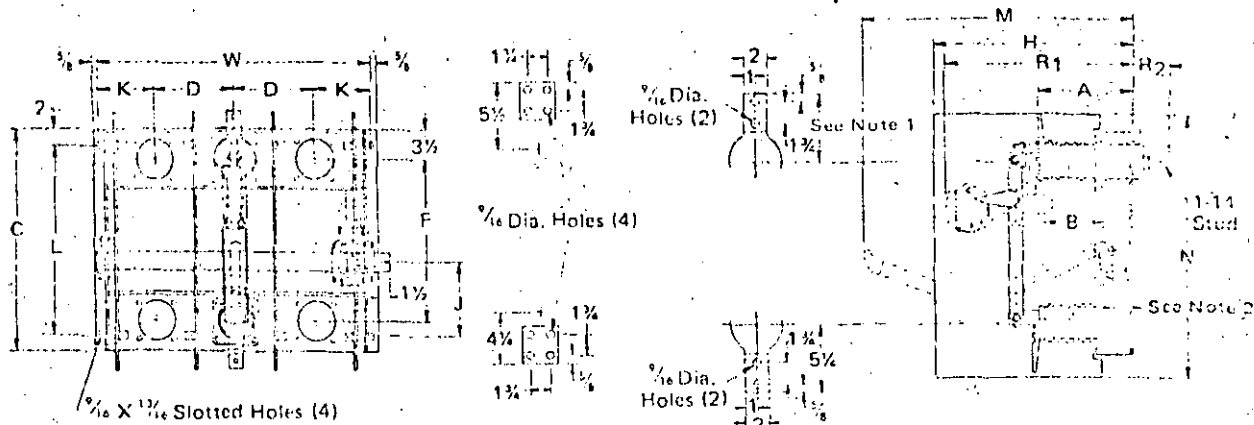
§ Refer to nearest S&C Sales Office.

CONDITIONAL APPLICATIONS (See † footnote on page 8)

Voltage Rating, Kv	Application Symbol	Maximum Operating Voltage, Line-to-Line, Kv	Maximum Interrupting Duty
13.8	L	Over 9.0 and up through 17.0	10 amperes

Three-Pole — Main Contact at Top

Handle on Right



1200 AMPERE

600 AMPERE

1200 AMPERE

600 AMPERE

TERMINAL PAD DRILLING

Rating								Applications (see pages 2 and 3)	Catalog Number †	
Nom.	Kv Max Des.	BIL	Cont. and Interr.	Amperes, Rms					Main Contact at Top Handle on Right	Main Contact at Top Handle on Left
				Short Time		Fault-Closing, Three-Phase				
				Mom. ⓐ	3-Sec.	One-Time ⓑ	Duty-Cycle Ⓒ			
4.8	5.5	60	600	61 000	25 000 <sup>§</sup>	61 000	40 000	AEFHK	34010R5	34110R5
4.8	5.5	60	1200	61 000	40 000	61 000	61 000	AEFHK	34020R1	34120P1
13.8	17.0	95	600	40 000	25 000	40 000	40 000	AEFHK	34012R5	34112R5
13.8	17.0	95	1200	61 000	40 000	61 000	61 000	AEFHK	34022R1	34122R1
25	27	125	600	40 000	25 000	28 000	28 000	AEFHK	234743*	234753*

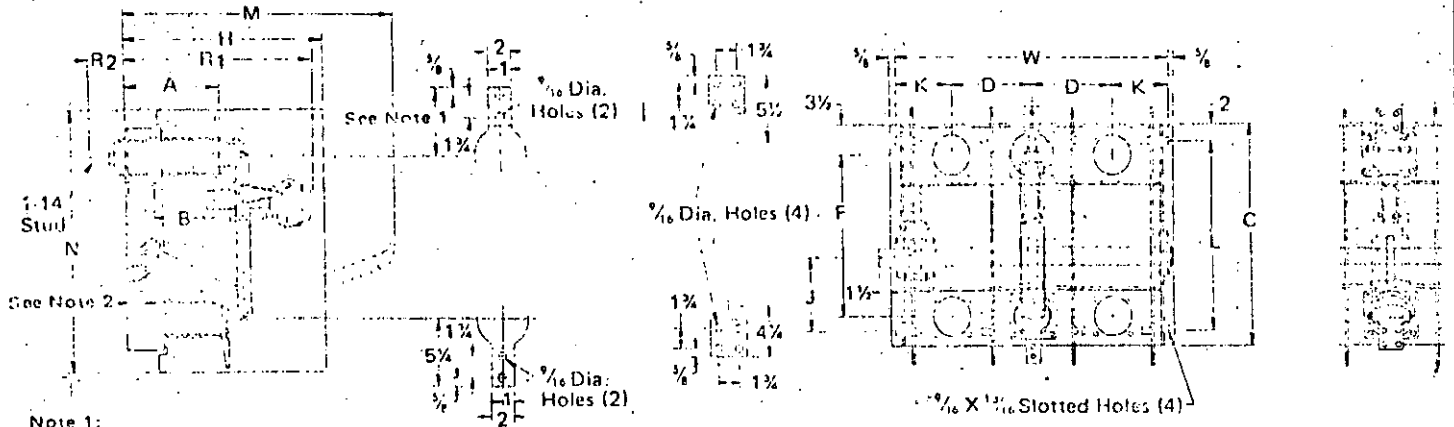
ⓐ Momentary ratings of the 600-ampere interrupter switches, when used in combination with Type SM-5S or Type SM-5SS Power Fuses (S&C Fused Interrupter Switches), are increased to equal the interrupting rating of the fuse, i.e. up through 41,500 amperes at 7.2 kv; and 54,000 amperes at 13.8 kv and 14.4 kv, 60 cycles only (55,000 amperes at 12.47 kv, 60 cycles only).

ⓑ One-time three-phase fault-closing ratings are established by closing the interrupter switch (unfused) once against a three-phase fault with asymmetrical current in at least one phase equal to the rated value, with the switch remaining operable with the capability of carrying and interrupting rated continuous current.

Ⓒ The one-time three-phase fault-closing ratings of the 600-ampere interrupter switches, when used in combination with Type SM-5S or SM-5SS Power Fuses (S&C Fused Interrupter Switches), are increased to equal the interrupting rating of the fuse, i.e. up through 41,500 amperes at 7.2 kv; and 54,000 amperes at 13.8 and 14.4 kv, 60 cycles only (55,000 amperes at 12.47 kv, 60 cycles only).

ⓓ Duty-cycle three-phase fault-closing ratings are established by closing the interrupter switch (unfused) twice against a three-phase fault with asymmetrical current in at least one phase, equal

Handle on Left



Note 1:  
5 1/2" for 4.8 Kv and 13.8 Kv  
7" for 25 Kv

Note 2:  
2 1/16" for 4.8 Kv and 13.8 Kv  
2 1/8" for 25 Kv

600 AMPERE

1200 AMPERE

600 AMPERE

1200 AMPERE

TERMINAL PAD DRILLING

Dimensions in Inches (to nearest 1/8")

Net Wt. Lbs.

	A†	B	C	D	F	H	J	K	L	M†	N	R1†	R2	W	
	9 1/2	5	21 1/2	8 1/2	15	19	6	6	17 1/2	26 1/2	26	16 3/8	4 1/2	29	197
	10 1/2	5	21 1/2	8 1/2	15	28	6	6	17 1/2	26 1/2	26	17 3/8	-	29	236
	11 1/2	7 1/2	26	10	19	24 1/4	8 1/2	7 3/8	22	33 1/4	30	22 1/4	7 1/2	34 1/4	233
	13 1/4	7 1/2	26	11	19	34 1/4	8 1/2	8 3/8	22	32 3/8	30	22 3/8	-	38 1/4	281
	14	9	31	15	23	-	9	10 1/2	27	40 1/2	-	25 3/8	-	51 1/2	445

to the rated value, with the switch remaining operable with the capability of carrying and interrupting rated continuous current. The duty cycle three-phase fault-closing ratings of the 600-ampere interrupter switches, when used in combination with Type SM-5S Power Fuses (S&C Fused Interrupter Switches), are increased to equal the interrupting rating of the fuse, i.e. up through 60,000 amperes at 4.16 kv; 43,500 amperes at 4.8 kv; and 41,500 amperes at 7.2 kv. Duty-cycle three-phase fault-closing ratings have not been established for the 600-ampere interrupter switches in combination with Type SM-5SS Power Fuses.

\* Interphase barriers and side barriers are not required, or furnished, with 25-kv three-pole interrupter switches.

† Applies to front-connected interrupter switches. The 600-ampere interrupter switches can be supplied with main contact end back connected. To specify, add suffix "DC" to catalog numbers. Dimensions A, M, and R1 increase 1/2". The 1200-ampere interrupter switches cannot be back-connected. Interrupter switches rated 25 kv cannot be back-connected.

§ 40,000 amperes rms symmetrical 10-cycle short-time rating.

ALIMENTADOR No. 1

ALIMENTADOR No. 2

ALGUNAS APLICACIONES TÍPICAS DEL INTERRUPTOR TIPO ALDUTI.

- 1.- INTERRUPCIÓN DE CORRIENTES EN LÍNEAS
- 2.- INTERRUPCIÓN DE CORRIENTES DE CARGA
- 3.- DIVISIÓN DE CARGAS
- 4.- INTERRUPCIÓN A TRANSFORMADORES (CORRIENTES MAGNÉTIZANTES O CORRIENTES DE CARGA)
- 5.- INTERRUPCIÓN A TRANSFORMADORES.
- 6.- INTERRUPCIÓN DE CORRIENTES EN CABLES
- 7.- INTERRUPCIÓN DE CORRIENTE EN BANCOS DE CAPACITORES.

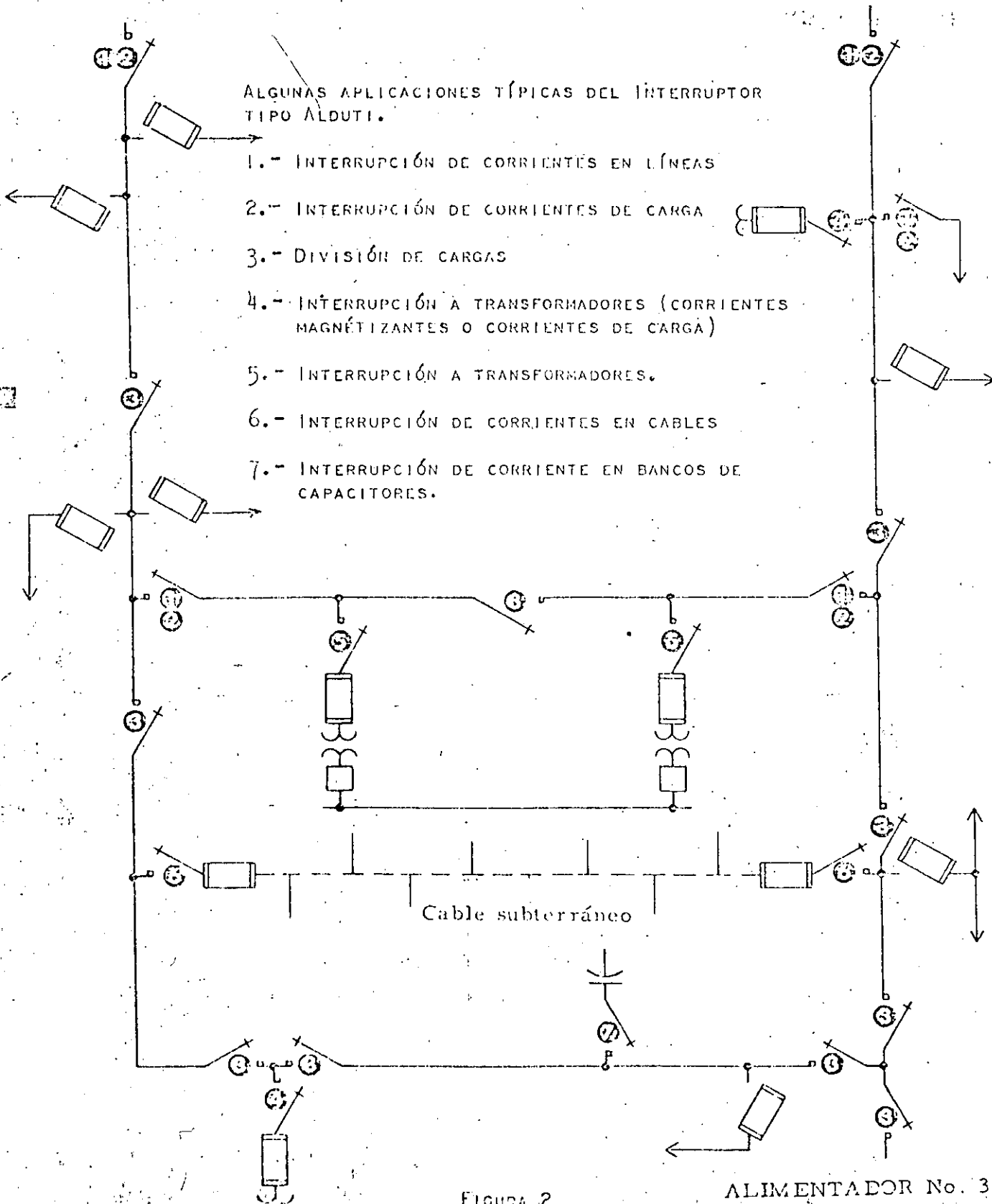


FIGURA 2

ALIMENTADOR No. 3



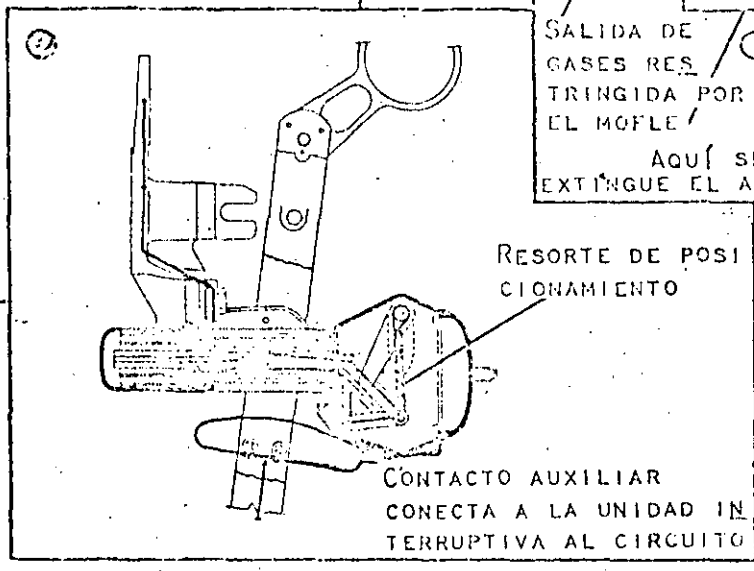
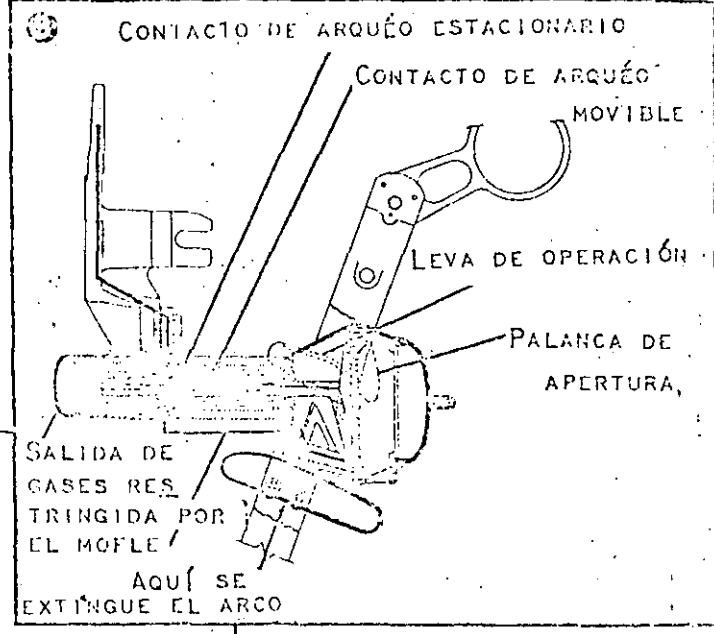
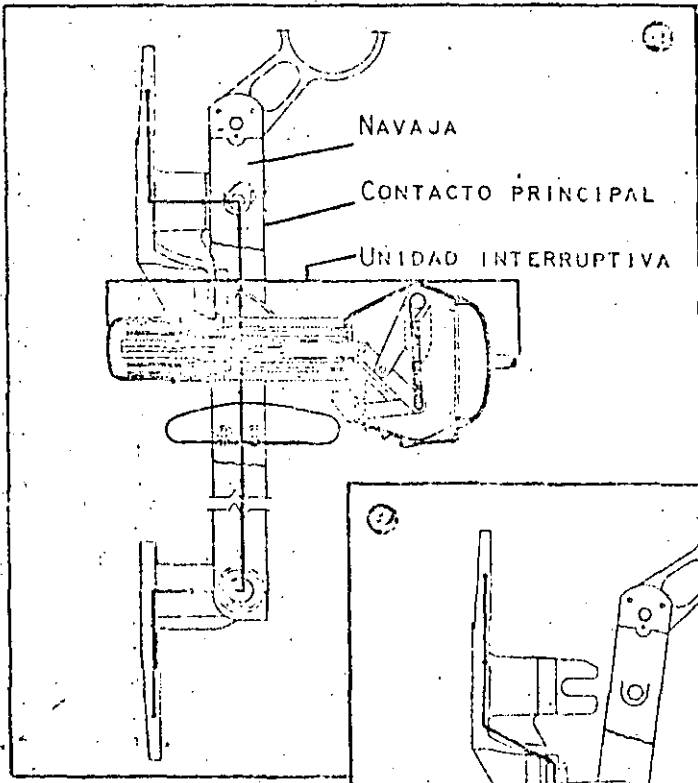


FIGURA 4.

- 1 )
- 2 )
- 3 )

TABLE III. APPLICATION CLASSIFICATIONS (See symbols on pages 26 through 37)

Application		Maximum Interrupting Duty (1)	Symbol				
Class	Qualifications		Single Pole Interrupter Switch		Three-Pole Interrupter Switch		
			Solidly or Effectively Grounded System	Ungrounded System	Solidly or Effectively Grounded System	Ungrounded System	
Transformer Switching	Parallel Switching (2)	‡	A	A	A	A	
	Load Dropping	Three-phase transformer (or three-phase bank of single-phase transformers) connected solidly-grounded wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side	‡	E	-	E	-
		All other connections of three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) - including autotransformers	‡	G	G	G	G
		Single-phase transformer connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	-	-	-
		Single-phase transformer connected phase-to-phase on the primary (interrupter-switch) side	‡	G	G	-	-
	Magnetizing Current Switching	Three-phase transformer (or three-phase bank of single phase transformers) connected solidly-grounded-wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side	•	E	-	E	-
		All other connections of three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) - including autotransformers	•	G	G	G	G
		Single-phase transformer connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	•	E	-	-	-
		Single-phase transformer connected phase-to-phase on the primary (interrupter-switch) side	•	G	G	-	-
	Line Switching	Load Splitting (Parallel or Loop Switching)	‡	A	A	A	A
Load Dropping		Three-phase circuits with all load-side three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) connected solidly-grounded-wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side, and all load-side single-phase transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	-	E	-
		Three-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above	‡	G	G	G	G
		Single-phase circuits with all load-side transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side	‡	E	-	-	-
		Single-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above	‡	G	G	-	-
Line Dropping		•	K	L	K	L	

① Lower values may apply in "conditional applications." Refer to "Conditional Applications" table at bottom of page 25.

②  $X_0/X_1$  from 0 to + 3.0 and  $R_0/X_1$  from 0 to + 1.0.

③ Applies to switching of primary of transformer which remains energized from secondary bus. For applications involving disconnecting a loaded secondary bus from one of two transformers supplying that bus while the primary side of the transformer remains energized, refer to the nearest S&C Sales Office.

‡ Same as continuous-current rating.

• All-duty Interrupter Switches will switch magnetizing current associated with applicable loads.

• Maximum length of line: 100 miles.

TABLE CONTINUED.

TABLE III. APPLICATION CLASSIFICATIONS (See symbols on pages 26 through 37) - Continued

Application		Maximum Interrupting Duty (A)	Symbol				
Class	Qualifications		Single-Pole Interrupter Switch		Three-Pole Interrupter Switch		
			Solidly or Effectively (B) Grounded System	Ungrounded System	Solidly or Effectively (B) Grounded System	Ungrounded System	
Cable Switching	Load Splitting	‡	A	A	A	A	
	Load Dropping	Three-phase circuits with all load-side three-phase transformers (or three-phase banks of single-phase transformers) connected solidly-grounded- wye on the primary (interrupter-switch) side and delta on the secondary side, and all load-side single-phase transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side.	‡	E	-	E	-
		Three-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above.	‡	G	G	G	G
		Single-phase circuits with all load-side transformers connected phase-to-ground on the primary (interrupter-switch) side.	‡	E	-	-	-
		Single-phase circuits with load-side transformers connected other than as described above.	‡	G	G	-	-
	Cable Dropping (charging current)	Shielded cable	100 amperes	H	L	H	L
Unshielded cable		100 amperes	K	L	K	L	
Capacitor Bank Switching, Single Bank Only	Grounded capacitor bank	100 amperes	H	L	H	L	
	Ungrounded capacitor bank	100 amperes	L	L	L	L	

⊕ Lower values may apply in "conditional applications." Refer to "Conditional Applications" table at bottom of page.

‡ Same as continuous-current rating.

⊗ X<sub>0</sub>/X<sub>1</sub> from 0 to + 3.0 and R<sub>0</sub>/X<sub>1</sub> from 0 to + 1.0.

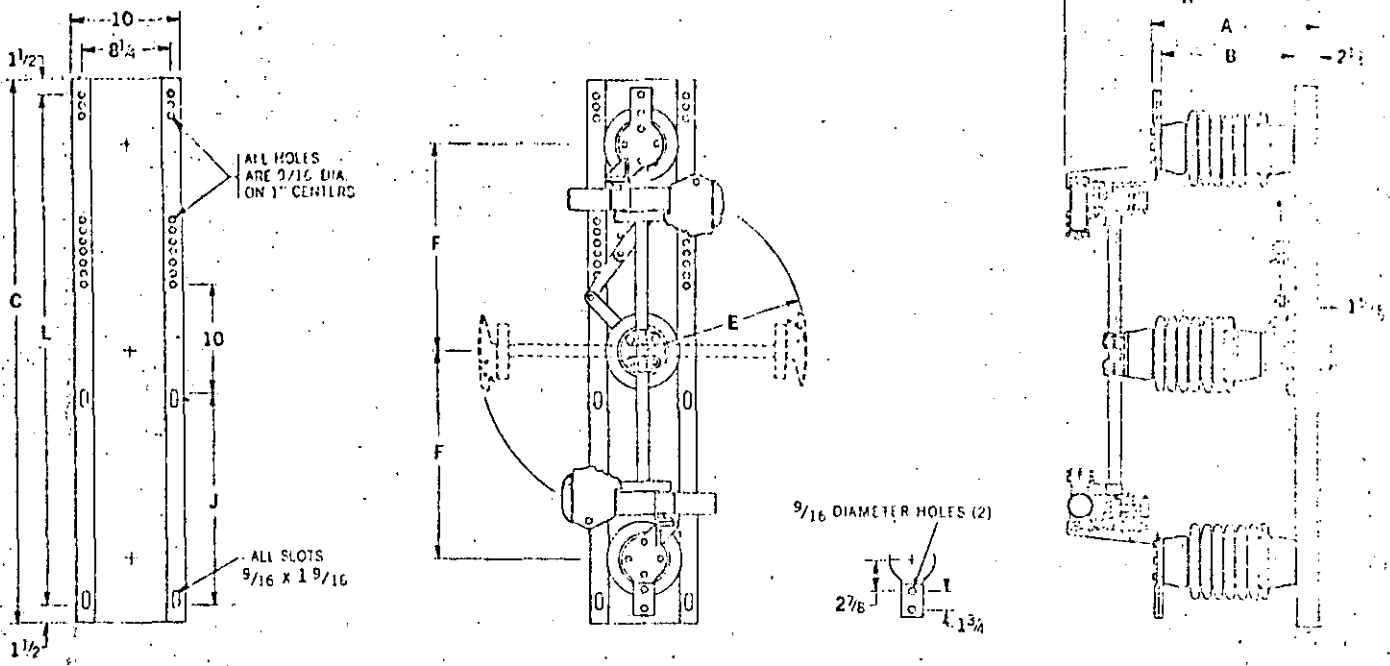
TABLE IV. CONDITIONAL APPLICATIONS (See symbols in parentheses on pages 26 through 37)

Interrupter Switch		Application Symbol	Maximum Operating Voltage Line-to-Line, Kv (A)	Maximum interrupting Duty	
Style	Voltage Rating, Kv				
Three-Pole Double-Break, Three-Pole Double-Break Integer and Three-Pole Double-Break Two-Way	25	L	Over 15.5 and up through 20.0	60 amperes	
		K	Over 20.0 and up through 27.0	Line dropping only	
	34.5	K	Over 15.5 and up through 21.7	60 amperes	
		L	Over 31.7 and up through 38.0	Line dropping only	
	46	L	L	Over 15.5 and up through 20.0	60 amperes
			G	Over 20.0 and up through 38.0	Line dropping only
		K	G	Over 38.0 and up through 45.0	200 amperes*
			L	Over 45.0 and up through 48.3	50 amperes*
		L	L	Over 15.5 and up through 31.7	60 amperes
			K	Over 31.7 and up through 48.3	Line dropping only
Three-Pole Vertical-Break and Three-Pole Side Break (Heavy-Duty, Standard-Duty, and Integer)	14.4	L	Over 12.0 and up through 17.0	Line dropping only	
		G	Over 22.0 and up through 27.0	200 amperes*	
	25	H	Over 15.5 and up through 22.8	60 amperes	
		K	Over 22.8 and up through 27.0	-	
		L	Over 15.5 and up through 19.0	Cable and line dropping only	
		K	Over 19.0 and up through 27.0	Line dropping only*	
	14.4	L	Over 12.0 and up through 27.0	Line dropping only	
		G	Over 15.5 and up through 17.0	Line dropping only	
		25	L	Over 22.0 and up through 27.0	200 amperes*
			H	Over 15.5 and up through 22.8	60 amperes
K		L	Over 22.8 and up through 27.0	-	
		K	Over 15.5 and up through 19.0	Cable and line dropping only	
Single-Pole Heavy-Duty	14.4	L	Over 15.0 and up through 27.0	Line dropping only*	
		L	Over 15.5 and up through 27.0	Line dropping only	

⊕ Where maximum operating voltage for a conditional application is lower than the lowest range listed, refer to "Application Classifications" table on pages 24 and 25 for applicable maximum interrupting duty value.

\* Applies to load droppng. All air interrupter switches will switch magnetizing currents associated with these loads.

\* Three-Pole Vertical-Break, Three-Pole Side-Break Heavy-Duty, Three-Pole Side-Break Standard Duty, and Single-Pole Heavy-Duty styles may be applied for cable dropping (charging current) through 4 amperes maximum provided phase spacing is 55 inches minimum and mounting position is upright or vertical. Three-Pole Side-Break Integer styles, Catalog Numbers 137813R2 and 137623, may also be so applied.



Mounting Position	Insulators	Rating					Catalog Number	Dimensions in Inches (to nearest 1/8")								Net Wt. per Pole Lbs.	Applications (See Tables 24 and 25)
		Nom.	Kv Max Des.	BIL	Amperes, Rms			A	B	C	E	F	J	L	R		
Vertical, Upright, Triangular Upright, or Tiered Upright or Outboard	Pin Type	25 f	27	150	600	40 000	45303R9	15	12	50	15 1/2	19	21	47	22	180	AEFGHKLI
		34.5	38	200	600	40 000	45304R9	19	16	50	15 1/2	19	21	47	26	234	AEFGHKLI
		46	48.3	250	600	40 000	45305R9	21	18	56	18 1/2	22	24	53	28	285	AEFGKLI
	Station Post	25 f	27	150	600	40 000	320303R9	17	14	50	15 1/2	19	21	47	24	189	AEFGHKLI
		34.5	38	200	600	40 000	320304R9	21	18	50	15 1/2	19	21	47	28	234	AEFGHKLI
		46	48.3	250	600	40 000	320305R9	25	22	56	18 1/2	22	24	53	32	300	AEFGKLI
Inverted	Pin Type	25 f	27	150	600	40 000	45403R9	15	12	50	15 1/2	19	21	47	22	180	AEFGHKLI
		34.5	38	200	600	40 000	45404R9	20	17	50	15 1/2	19	21	47	27	234	AEFGHKLI
		46	48.3	250	600	40 000	45405R9	22	19	56	18 1/2	22	24	53	29	285	AEFGKLI
	Station Post	25 f	27	150	600	40 000	320403R9	17	14	50	15 1/2	19	21	47	24	189	AEFGHKLI
		34.5	38	200	600	40 000	320404R9	21	18	50	15 1/2	19	21	47	28	234	AEFGHKLI
		46	48.3	250	600	40 000	320405R9	25	22	56	18 1/2	22	24	53	32	300	AEFGKLI

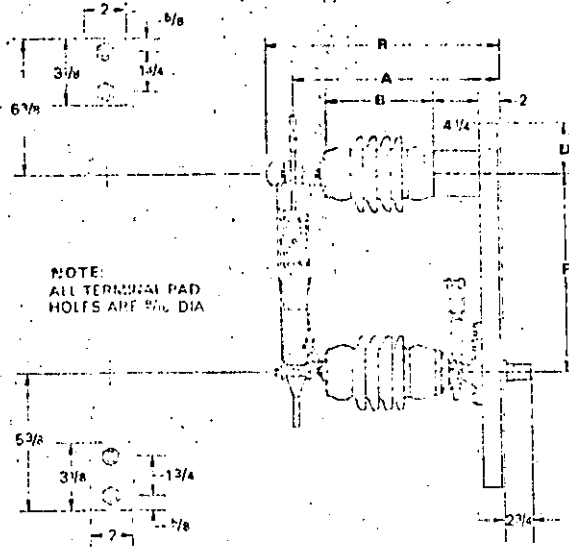
① The 3-second rating is 25,000 amperes.

② Catalog number includes operating mechanism.

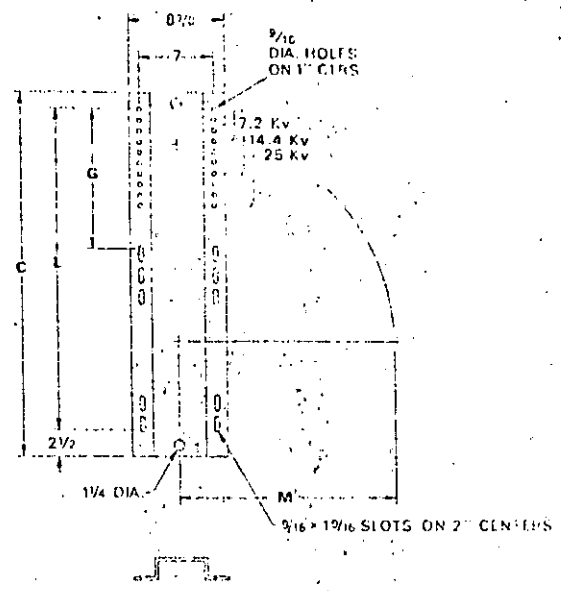
③ Applications indicated by symbols in parentheses are conditional. See Table IV, page 25.

④ Also suitable for use on 20/34.5-GY-kv systems, for the applications indicated for the 34.5-kv rating, provided fully BIL insulation is acceptable.

- Includes one-inch spacer.
- Includes two-inch spacer.



Terminal Pad Drilling



Base Detail

Mounting Position	Opening Direction	Insulators	Rating					Catalog Number	Dimensions in Inches (to nearest 1/2")								Net Wt. per Pole, Lbs.	Applications (see pages 24 and 25)	
			Kv			Amperes, Rms			A	B	C	D	E	F	L	M			R
			Nom.	Max. Des.	BIL	Cont.	Mem.												
Vertical, Upright, or Tiered Upright or Outboard	Clock-wise	Pin Type	7.2	8.25	95	600	40 000	37011R3	17	7	30	5	10	14	26	16	19	84	AF (GHE), AF (GHE), AF (GHE)
			14.4	17.0	110	600	40 000	37012R3	19	10	34	4	13	18	30	20	21	93	
			25	27	150	600	40 000	37013R3	21	12	39	6	18	21	35	23	25	120	
	Counter-clock-wise	Station Post	7.2	8.25	95	600	40 000	137011R3	17	7	30	5	10	14	26	16	19	85	AF (GHE), AF (GHE), AF (GHE)
			14.4	17.0	110	600	40 000	137012R3	19	10	34	4	13	18	30	20	21	93	
			25	27	150	600	40 000	137013R3	23	14	39	6	18	21	35	23	25	128	
Inverted	Clock-wise	Pin Type	7.2	8.25	95	600	40 000	37111R3	17	7	30	5	10	14	26	16	19	84	AF (GHE), AF (GHE), AF (GHE)
			14.4	17.0	110	600	40 000	37112R3	19	10	34	4	13	18	30	20	21	93	
			25	27	150	600	40 000	37113R3	21	12	39	6	18	21	35	23	25	120	
	Counter-clock-wise	Station Post	7.2	8.25	95	600	40 000	137111R3	17	7	30	5	10	14	26	16	19	85	AF (GHE), AF (GHE), AF (GHE)
			14.4	17.0	110	600	40 000	137112R3	19	10	34	4	13	18	30	20	21	93	
			25	27	150	600	40 000	137113R3	23	14	39	6	18	21	35	23	25	128	

① The 5-second rating is 25,000 amperes.  
 ② Catalog number includes operating mechanism.  
 ③ Applications indicated by symbols in parentheses are conditional. See Table IV, page 25.

• Also suitable for symbol "A" and "E" applications (see pages 24 and 25) on 20/44.5 GRV-kv systems. In addition, may be applied on such systems for line and cable drooping (electromechanical) through 4 amperes maximum provided phase spacing is 10 inches minimum and mounting position is upright or vertical.



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

**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO**

**FUSIBLES Y CORTACIRCUITOS DE POTENCIA  
TEORIA, CONSTRUCCION, OPERACION, SELECCION Y APLICACION**

**ING. ALBERTO VILLAGRAN URRUTIA**

**OCTUBRE, 1984.**

## FUSIBLES Y CORTACIRCUITOS DE POTENCIA

## TEORIA, CONSTRUCCION, OPERACION, SELECCION Y APLICACION

I.- TEORIA

Los fusibles y cortacircuitos de potencia forman parte del grupo de dispositivos destinados a realizar la protección e interrupción de circuitos eléctricos de alta tensión y han sido cuidadosamente diseñados y fabricados para satisfacer los requisitos que presentan los sistemas de distribución y transmisión de energía eléctrica que se utilizan en la República Mexicana.

Los dispositivos de protección e interrupción de circuitos en alta tensión esta formado por:

- 1.- Interruptores en baño de aceite
  - a) En gran volumen de aceite
  - b) En reducido volumen de aceite
- 2.- Interruptores neumáticos
- 3.- Combinación de cuchillas desconectadoras con carga, con cortacircuitos fusibles de potencia.

Es importante mencionar que según las características de las instalaciones eléctricas, no siempre es necesaria una combinación de cuchillas desconectadoras con carga con cortacircuitos de potencia. Físicamente pueden montarse separados y solo irán unidos eléctricamente, esto puede permitir una gran flexibilidad en las instalaciones ya que en algunas instalaciones puede bastar un solo juego de cuchillas desconectadoras con carga (interruptor Alduti) para alimentar varios juegos de cortacircuitos de potencia o viceversa. Como ejemplo podemos mencionar una instalación industrial en donde puede haber un solo juego de interruptor Alduti en la subestación principal, alimentando varios centros de carga, cada uno protegido por un juego de cortacircuitos.

Desde su aparición en el mercado en el año de 1911 y debido al constante interés de S&C Electric Co. por desarrollar,

diseñar, fabricar y someter a constantes pruebas de laboratorio, nuevos y mejores dispositivos de protección e interrupción de circuitos que se apeguen a las necesidades y características que demandan los sistemas de distribución de energía eléctrica; se ha confirmado cada vez más, que los cortacircuitos fusibles de potencia es el equipo para protección de cortacircuito y sobrecargas de mas bajo precio, proporcionando también seguridad y confiabilidad en su operación y mantenimiento, facilidad de montaje, economía en su operación para la conducción como para la interrupción de la corriente eléctrica dentro del rango de aplicación para el cual han sido diseñados.

SyC tiene actualmente una gran variedad de cortacircuitos que han sido diseñados para cumplir satisfactoriamente con todos los parámetros que hacen variar las condiciones de operación de estos dispositivos como: voltajes, corrientes continuas de conducción, corrientes de cortacircuito que deben interrumpir, tipos de montaje, operación con o sin carga mediante la herramienta adecuada (Loadbuster) y características físicas especiales que resultan indispensables para su operación.

Los rellenos o unidades fusibles para cada tipo de cortacircuitos de potencia marca S&C se fabrican en distintos calibres, ofreciendo así una amplia gama de capacidades nominales, distintas velocidades de fusión (estandar, lenta, muy lenta, de coordinación y rápida) con sus curvas de fusión correspondientes.

Todo esto para hacer posible la selección del fusible más adecuado, cualesquiera que sean las condiciones de voltaje y corriente de la carga.

Una característica muy importante de los rellenos o unidades fusibles de S&C es la posibilidad que ofrecen para coordinarse con otros fusibles o dispositivos de protección del sistema donde sean utilizados con objeto de aislar la falla lo más cerca posible a su lugar de origen. Esto es posible ya que el elemento de fusión del relleno o unidad fusible, está fabricado con plata de una pureza de 99.9%.

Este material cuyo calibre se controla con el más alto gra-



do de precisión, permite formular y elaborar curvas de fusión y despeje de falla graficadas en parámetros de tiempo y corriente, absolutamente consistentes y dentro de las tolerancias mas severas impuestas por las normas internacionales y en este caso, de tolerancias especiales impuestas por la misma S&C Electric Co. El elemento de planta, gracias a su muy alta temperatura de fusión, no pierde sus propiedades en caso de sobrecargas momentáneas, debidas entre otras causas al arranque de motores pesados; de esta manera conserva sus características de fusión permitiendo una coordinación 100% confiable con todos y cada uno de los dispositivos de protección del sistema ya sean fusibles o relevadores.

Los cortacircuitos de potencia marca S&C que con frecuencia son requeridos para las diversas instalaciones eléctricas podemos agruparlos en los siguientes tipos:

		SM-4	Interior Intemperie
Tipo	SM		
		SM-5	Interior Intemperie
		SMD-1A	Intemperie
		SMD-2B	"
Tipo	SMD	SMD-2C	"
		SMD-3	"
		SMD-20	"
		SMD-50	"

## II CONSTRUCCION

Los cortacircuitos tipo SM constan básicamente de tres componentes principales:

### 1.- Montaje:

Base de acero galvanizada, aisladores y partes vivas - incluyendo seguro.

### 2.- Portafusible:

Tubo de baquelita cubierto por un tubo extra de porcelana con extremos o remates metálicos, plateados, arillos de conexión y desenganche y protector contra lluvia o polvo. En el interior lleva un conjunto de resorte y cable que proporciona una perfecta conductividad y una tensión mecánica al relleno fusible para dar velocidad a la elongación del arco cuando opera el fusible. En los cortacircuitos tipo interior este portafusible lleva además en la parte inferior un dispositivo que hace la función de condensador de los gases de expulsión y amortiguador del ruido resultante de la operación del fusible. El uso de estos dispositivos en cortacircuitos utilizados en subestaciones compactas tipo interior eliminan también los efectos nocivos ocasionados por la sobrepresión interna que causa sobre las paredes de la subestación, la expulsión de los gases de extinción.

### 3.- Relleno Fusible:

Tubo de baquelita que aloja en su interior al elemento fusible de plata, una varilla o contacto móvil principal de cobre, plateada; una varilla o contacto auxiliar de acero inoxidable, un elemento de tensión mecánica de níquel cromo y el material sólido extinguidor del arco.

El elemento de fusión en rellenos fusibles de 10 E Amp. o más consta de un alambre helicoidal de plata calibrado y un elemento de tensión de níquel-cromo. En rellenos fusibles de 7, 5, 3 y 1 Amp. se utiliza un elemento de fusión de níquel-cromo pretensionado.

Los cortacircuitos de potencia tipo SMD se componen básicamente de dos partes:

- 1.- Montaje.- Base de acero galvanizada, aisladores y partes vivas incluyendo seguro.

2.- Unidad Fusible.- Tubo de baquelita o material especial a base de fibra de vidrio y epoxy. En este caso están integrados en la unidad fusible:

- a) Las piezas responsables de la conducción e interrupción de la corriente: elemento fusible de plata varilla o contacto móvil de cobre, plateada; elemento de tensión mecánica y el material sólido extinguidor del arco.
- b) El mecanismo de interrupción del circuito de alto voltaje.

El elemento de fusión varía en su construcción igual que los tipo SM: para 10 ó más Amps. se utiliza un alambre helicoidal de plata y un elemento de tensión; para 7, 5, 3 y 1 Amp. se utiliza un elemento de fusión, de níquel-cromo pretensionado.

Todos los cortacircuitos se proporcionan si así se requiere con conectores adecuados a las características del cable o conductor que va a utilizarse.

### III.- OPERACION

El mecanismo de extinción del arco es sumamente sencillo. Al fundirse el elemento de plata, un fuerte resorte separa el contacto móvil del contacto fijo, rápidamente. Inmediatamente aparece el arco ionizando el aire y haciéndolo conductor, pero su violencia misma proporciona el medio de su extinción. Su elevadísima temperatura vaporiza y disocia el ácido bórico barriendo violentamente el gas ionizado y reemplazándolo por gas de muy alto poder dieléctrico, interrumpiendo la falla en el primer paso de la corriente por cero. Ahora ocurre un importante fenómeno. El voltaje abatido violentamente en el momento de la falla, resurge violentamente al interrumpirse la corriente. Este voltaje de recuperación puede alcanzar una velocidad de incremento (medida en volts por microsegundo) tan elevado que logra a veces vencer el poder dieléctrico de los gases, restableciéndose el arco en forma peligrosa. Si el fusible es bueno, como han demostrado serlo en pruebas innumerables y certificadas bajo todo tipo de condiciones, los fusibles S&C, se produce suficiente generación de gases y barrido para la extinción del arco y el despeje de la falla en medio ciclo al primer paso de la corriente por su valor cero.

El proceso de extinción de la falla o sobrecorriente es básicamente el mismo en todos los cortacircuitos de potencia de SAC y difiere ligeramente según el tipo seleccionado, por las diferencias de diseño propias de cada tipo como se explica a continuación en forma más detallada.

#### CORTACIRCUITOS SM.

Debido al material sólido utilizado en los rellenos fusibles tipo SM para la extinción del arco durante el proceso de la interrupción del circuito, el rango de corriente que puede ser interrumpido es función del diámetro y la longitud del barrenado en el cual el arco es extendido para lograr su extinción.

El taladro principal está dimensionado para acomodar el arco y generación de gases asociados con fallas, en rangos de 1000 a 60000 Amp. Para fallas de 1000 Amp. o menores, el barrenado auxiliar de menor diámetro asegura un contacto más íntimo entre el arco y el medio de extinción del mismo, el cual es necesario para asegurar una alta velocidad de extinción del arco.

Sin tomar en cuenta el nivel de falla, el alto valor de recuperación dieléctrica es superior a la severidad del voltaje de recuperación transitorio de cualquier circuito donde el fusible SM es aplicado.

#### Operación en fallas de baja intensidad.

Paso 1.- La sobrecorriente funde el elemento fusible de plata, siendo entonces transferida al alambre de tensión el cual se volatiliza instantáneamente iniciándose el arqueo.

Paso 2.- Las dos varillas o contactos móviles, principal y auxiliar son jalados hacia arriba por la acción del resorte del portafusible. Después de haberse desplazado aproximadamente 1/8 de pulgada en su viaje, la sección (no aislada) más baja de la varilla auxiliar, desvía la corriente por el contacto auxiliar localizado en la parte inferior del fusible y cortando el arco. El arqueo es reiniciado cuando el extremo de la varilla auxiliar se ha desplazado aproximadamente una pulgada en su viaje, o sea, en el momento en que el extremo de la varilla auxiliar deja de tener contacto físico con el contacto auxiliar.

Paso 3.- La sección de pequeño diámetro del barrenado auxiliar,

retarda la extinción del arco hasta conseguir un espacio o entre-hierro suficiente para impedir la reignición en el barreno principal. Más aún, el extremo de la varilla principal va adelante del extremo de la varilla auxiliar con una diferencia de una pulgada aproximadamente, asegurando así que el arco no va a ser transferido de regreso al barreno principal.

Paso 4.- Después de que el extremo de la varilla auxiliar ha viajado aproximadamente la mitad del barreno, ha ocurrido suficiente deionización para lograr la extinción del arco.

Operación en fallas de mediana y alta intensidad.

Paso 1.- La sobrecorriente funde el elemento fusible de plata, siendo entonces transferida al alambre de tensión, el cual se volatiliza instantáneamente iniciándose el arqueo.

Paso 2.- El arqueo iniciado en la varilla principal, persiste en el barreno principal ya que éste es el sendero de más baja resistencia. Cualquier arqueo que se estableciera en el barreno auxiliar sería extinguido inmediatamente por una combinación de los factores: un sendero de alta resistencia (acero inoxidable) y el alto poder dieléctrico del barreno de pequeño diámetro.

Paso 3.- Después de que el extremo de la varilla principal ha viajado aproximadamente la mitad del barreno, ha ocurrido suficiente deionización para lograr la extinción del arco.

#### CORTACIRCUITOS TIPO SMD-20

Estos cortacircuitos proporcionan una rápida y positiva interrupción de falla, después de que funde el elemento fusible. Debido al movimiento a alta velocidad con el que se desplaza la varilla de contacto se efectúa una rápida elongación del arco en el barreno forrado totalmente de material sólido de la unidad fusible; y debido a la eficiente acción deionizante de los gases generadores por la reacción química de los materiales sólidos, se logra la extinción del arco.

En el caso de fallas de baja intensidad tan difíciles de interrumpir, el arco es "jalado" hacia una zona donde se tienen varias pastillas de material sólido reforzado para aumentar la presión de los gases de ionizantes. El resultado de la operación es la obtención de un alto valor de recuperación dieléctrica superior a la severidad del voltaje de recuperación transitorio de cualquier circuito donde es aplicado el cortacircuitos de potencia SMD-20, evitando así la re-ignición.

Después de que el circuito ha sido interrumpido dentro de la cámara de extinción del arco, la unidad fusible cae por gravedad girando sobre el gozne inferior debido a que al llegar a su tope la varilla de contacto y perforar la parte superior del fusible con la espiga, ésta destraba la aldaba-seguro que deja caer libre, la unidad fusible indicando que el cortacircuitos actuó,

#### CORTACIRCUITOS TIPO SMD-1A, 2B, 2C, 3 y 50

La operación de estos cortacircuitos es similar a la del tipo SMD-20 y difieren solamente en la construcción del sistema mecánico en pequeños detalles.

Una diferencia que vale la pena hacer notar es el hecho de que los fusibles tipo SMD-2B para 34.5 KV y 69 KV de 1 hasta 30 Amp. van equipados con una cápsula de  $\text{CO}_2$  que sirve como auxiliar para la extinción de fallas de baja intensidad. Esta cápsula está colocada en la parte superior de la unidad fusible precisamente arriba de la cámara (de extinción del arco) de material sólido. Cuando el fusible opera un mecanismo abre la cápsula de  $\text{CO}_2$  lanzando sobre el arco que se acaba de formar, un soplo de  $\text{CO}_2$  que ayuda al material sólido a extinguir rápidamente el arco.

Después de que el circuito ha sido interrumpido dentro de la cámara de extinción del arco, la unidad fusible cae por gravedad girando sobre el gozne inferior debido a que al llegar a su tope la varilla de contacto y golpear fuertemente la parte superior del fusible con la espiga, ésta destraba la aldaba-seguro que deja caer libre a la unidad fusible indicando que el cortacircuitos actuó.

#### 4.- Selección

Debido a que para diseñar los cortacircuitos de potencia, se parte del análisis de determinadas condiciones; de manera recíproca, para poder hacer la selección adecuada de estos dispositivos será necesario definir las condiciones de trabajo al que van a estar sometidos.

A continuación aparece una tabla que nos muestra los distintos tipos de cortacircuitos de potencia más comúnmente usados en las instalaciones eléctricas de alta tensión en México, con las características principales que nos permitirán hacer la selección más adecuada del aparato.

Tabla de características eléctricas de cortacircuitos fusible de potencia marca S&C más comunes.

		KV			AMPS			MVA	CATALOGO	
		NCM	NBY	NBA	CONT	SIM	ASIM	SIM	CORTACIRCUITOS	CANILLA
SM - 4	INTEMPERIE	7.2	8.25	95	200	15600	25000	195	87111	86051
		14.4	17	110	200	12500	20000	300	87112	86052
		23	27	150	200	9400	15000	375	87113	86053
		34.5	38	200	200	6250	10000	375	87114	86054
SM - 4	INTERIOR	13.8	17	95	200	12500	20000	310	87362	86632
		23	27	150	200	9400	15000	375	87063	86633
SM - 5	INTEMPERIE	7.2	8.25	95	400	26000	41500	325	87511	86151
		14.4	17	110	400	25000	40000	600	87512	86152
		23	27	150	300	20000	32000	750	87513	86153
		34.5	38	200	300	17500	23000	1000	87514	86154
SM - 5	INTERIOR	13.8	17	95	400	25000	40000	600	87442	86642
		23	27	150	300	20000	32000	750	87073	86643
SMD - 20	INT-INTEMP	7.2	8.25	95	200	12500	20000	155	92121	
		14.4	17	110	200	12500	20000	310	92122	
		23	27	150	200	12500	20000	500	92123	
		23	27	150	200	12500	20000	500	192223	
SMD - 20	INTEMP.	34.5	38	150	200	10000	16000	600	92124	
		34.5	38	200	200	10000	16000	600	192504	
SMD (Servicio Intemperie)	1A	69	72.5	350	200	8750	14000	1000	186706	
		115	121	550	100	5000	5000	1000	186838	
	28	69	72.5	350	300	17500	28000	2000	186926	
		115	121	550	250	10500	16800	2000	186518	
		138	145	650	250	8750	14000	2000	186519	
	2C	34.5	38	200	300	33500	53500	2000	186924	
46		48.3	250	300	31500	50500	2500	186925		
3	69	72.5	350	200	25000	40000	3000	192086		
50	34.5	38	200	100	6700	10600	400	86534		
	46	48.3	250	100	5000	8000	400	86535		
	69	72.5	350	100	3350	5300	400	86536		



En la tabla anterior como ya se había mencionado, aparecen únicamente los cortacircuitos que se utilizan con más frecuencia en nuestras instalaciones eléctricas y todos ellos son para instalación vertical en estructura o cruceta.

Existen además otros cortacircuitos con características -- más especiales de montaje y manejo como pueden ser.

Montaje horizontal hacia arriba

Montaje horizontal invertido

No desconectores

Para operación con carga (mediante la herramienta portátil Loadbuster)

Montaje horizontal con los aisladores escalonados

Con aisladores en ángulo recto

Tipo pedestal

Montaje vertical para usarse con poleas para el manejo del portafusible o unidad fusible

Montaje horizontal invertido para usarse con poleas

Con apertura de 45, 90 ó 180 grados.

En caso de requerirse alguna de estas características especiales deberá consultarse el catálogo general de S&C.

#### SELECCIÓN DEL RELLENO O UNIDAD FUSIBLE

Para la selección del fusible adecuado debe hacerse uso de las curvas de fusión que han sido elaboradas para cada tipo de cortacircuitos.

La técnica actual aplicada a fusibles de potencia y fusibles tipo expulsión ha permitido lograr características de funcionamiento en estos elementos realmente sorprendentes en lo -- que se refiere a habilidad para protección de cortocircuitos francos o fallas de tipo secundario, la precisión que se puede lograr es con una variación máxima de +10% de error en términos de corriente, en algunos de los tipos mencionados y -- +20% en términos de corriente en los restantes, es decir, es admisible que el fusible de potencia se empiece a fundir 10% ó 20% (según el tipo) arriba de la corriente para la cual se había elegido. Como punto comparativo podemos decir que anteriormente (y aún en la actualidad) algunos fusibles tenían -- una variación de + 20% en términos de corriente lo cual los -- hacia bastante ineficientes en el despeje de fallas de baja intensidad.

La avanzada tecnología de materiales existentes propicia la seguridad de tener fusibles totalmente confiables en lo que respecta a precisión e invariabilidad de esa precisión por vibraciones, sobrecalentamiento del medio ambiente o sobrecorrientes repentinas que no alcancen a tocar el punto de la curva en que el fusible empieza una franca fusión. La coordinación de los dispositivos de protección por medio de fusibles es perfectamente posible con un alto grado sencillez mediante la utilización de distintas velocidades de fusión para un mismo tipo de fusible de la misma corriente nominal. En el mercado nacional existen fusibles hasta con 5 velocidades distintas de fusión con el objeto de lograr una buena coordinación en el caso de que esto sea necesario, las velocidades son:

- 1.- Muy rápida
- 2.- Rápida
- 3.- Lenta
- 4.- Muy lenta
- 5.- De coordinación

La coordinación de los fusibles de potencia se hace posible mediante el empleo de dos curvas de fusión que son suministradas por el fabricante. La curva de mínimo tiempo de fusión con olerancia de +10% ó +20% y la curva de despeje total de la falla sin tolerancia, cabe aclarar que cada una de las capacidades nominales de fusibles tiene esas dos curvas características tiempo corriente. La primera curva de mínimo tiempo de fusión nos indica el tiempo en que empezará a fundirse el fusible con una corriente Ia., la segunda curva de despeje total de la falla nos indica el tiempo en que la falla quedará totalmente extinguida circulando a través del fusible la misma corriente de falla Ia., el método de coordinación en cascada se logra entonces haciendo coincidir los puntos de mínimo tiempo de fusión de un fusible "B" con el despeje total de la falla de un fusible "A".

Para la corriente de falla Ia., en el fusible "X", podemos determinar exactamente el tiempo de fusión de acuerdo a don de Ia., corta las curvas I y II.

CURVA LOGARITMICA DE FUSION  
TIEMPO-CORRIENTE

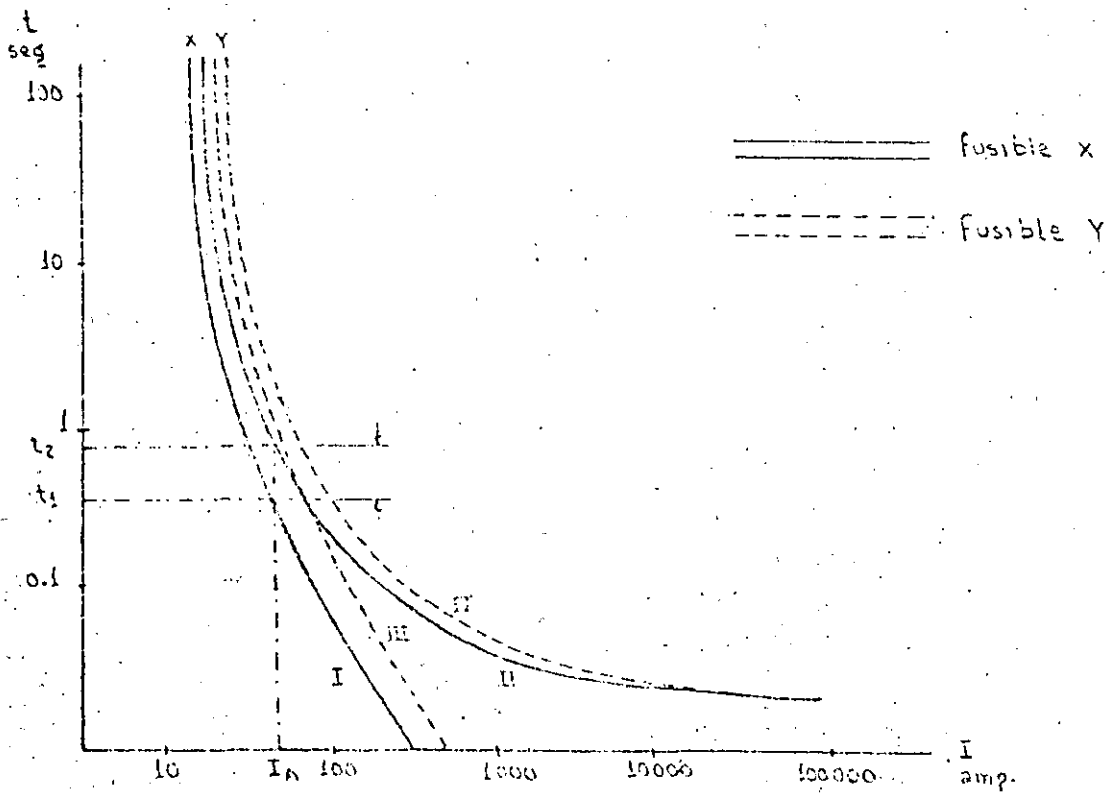


Fig. 26

Curva I. Mínimo tiempo de fusión (inicio de la fusión)

Curva II. Despeje total de la falla (extinción total del arco).

Las curvas I y II corresponden al mismo fusible (X).

$$\text{Tiempo de fusión} = t_2 - t_1$$

La coordinación se efectuará con otro fusible "Y", ya sea de otra capacidad o de la misma que el "X", pero de diferente velocidad. La condición a llenar sería que dicho fusible "Y" tuviera una curva de mínimo tiempo de fusión (III) lo más próxima a la curva II, pero no la tocará en el punto crítico de una falla secundaria (es decir, en la parte superior de las curvas), con la curva IV del fusible "Y" se haría lo mismo para un tercer fusible.

#### V.- APLICACION

A continuación se mencionan las características principales y la aplicación de los cortacircuitos fusible de potencia.

#### TIPO SM - INTEMPERIE e INTERIOR

Los cortacircuitos fusibles de potencia SM tienen la versatilidad y calidad que los hacen adecuados especialmente para proteger, durante fallas, redes de distribución desde 4.16 hasta 34.5KV en zonas de gran densidad de consumo de energía eléctrica. Se ofrecen con capacidad máxima de corriente continua de carga de 200, 300, 400 y 720 Amps. y son adecuados particularmente para las siguientes instalaciones.

- En los primarios de los transformadores de potencia de mediana y alta capacidad situados en subestaciones de distribución a la intemperie e interiores.
- En los terminales de las barras colectoras secundarias a la salida de los cables alimentadores en subestaciones de distribución a la intemperie e interiores.
- En centros de conmutación a la intemperie e interiores, a la entrada de las barras colectoras principales y a la salida en los terminales de los cables alimentadores.

- Y en las barras colectoras en centros de bancos de capacitores.

Los cortacircuitos al ser usados como se ha descrito anteriormente ofrecen protección continua al lado de suministro durante fallas en transformadores, en bancos de capacitores y en ramales secundarios; protección del transformador durante fallas secundarias permanentes independientemente de que el fusible se encuentre en el lado primario o secundario del transformador; y protección permanente de que el fusible se encuentre en el lado primario o secundario del transformador; y protección permanente a los circuitos alimentadores durante fallas. En todos los casos el fusible SM brinda PROTECCION COMPLETA CONTRA FALLA o sea que cuando se instala en el lado primario del transformador, el fusible detecta e interrumpe toda clase de fallas (extensas, medianas y pequeñas) incluyendo niveles tan bajos como dos veces la corriente mínima de fusión: independientemente de que la falla este en el lado primario o secundario, con voltajes de línea a línea o de línea a tierra en los terminales del fusible, en cualquier tipo de conexión en el devanado del transformador; cubriendo toda la gama de la severidad del voltaje de recuperación transitorio relacionada con las condiciones antes descritas.

Obteniendo esta clase de protección es posible coordinar completamente todos los dispositivos protectores. Las tres clases de velocidades (normal, lenta y coordinadora) disponibles en sus características tiempo-corriente son suficientemente exactas para permitir la operación selectiva de conjunto con relevadores de protección.

#### TIPOS SMD-1A, SMD-2B y SMD-2C

Los fusibles de Potencia SMD-1A, SMD-2B y SMD-2C han sido diseñados especialmente para subestaciones de distribución de alta capacidad eléctrica, al aire libre, alimentadas a voltajes de subtransmisión de 34.5 has 138KV. Esta clasificación de fusible SMD es apropiada para instalaciones donde el nivel de fallas de subtransmisión es relativamente alta y la capacidad de transformación se extiende desde 1.000 a 15.000 Kva.

Cuando se instalan en los primarios de los transformadores de

potencia o cuando se conectan directamente a los ramales de los circuitos de subtransmisión, estos fusibles "de caída" suministran no sólo protección a la red de subtransmisión - contra fallas en los transformadores, sino además protegen al mismo transformador contra fallas secundarias. En esta aplicación, se suministra protección completa de falla, o sea que cuando se instalan en el lado primario del transformador, el fusible detecta e interrumpe toda clase de fallas extensas, medianas y pequeñas (incluyendo niveles tan bajos como dos veces la corriente mínima de fusión); independientemente de que la falla esté en el lado primario o secundario; con voltajes de línea a línea o de línea a tierra en los terminales del fusible; en cualquier tipo de conexión en el devanado del transformador; cubriendo toda la gama de la severidad del voltaje de recuperación transitorio relacionada con las condiciones descritas anteriormente.

Obteniendo esta clase de protección es posible coordinar completamente todos los dispositivos protectores. Las tres clases de velocidades (normal, lenta y muy lenta) disponibles en sus características de tiempo-corriente son suficientemente lentas para permitir la operación selectiva de conjunto con relés de protección. Además, las características de tiempo-corriente son precisas y permanentes, al mismo tiempo que la variación entre el plazo de fusión mínimo y máximo está limitada al 10% en términos de corriente. Para obtener una coordinación exacta con estos fusibles entre la fuente suministradora e interruptores automáticos secundarios, factores de ajuste han sido determinados y publicados para distintas corrientes de carga, temperatura, períodos de enfriamiento durante el recierre de interruptores automáticos y condiciones normales y de emergencia de sobrecarga en los transformadores.

Ya que los servicios de protección están restringidos únicamente a fallas permanentes, características típicas de operación de fusibles, que pueden ocurrir una vez cada 30 ó 40 años, justifican que se emplee excelencia y máxima destreza en su diseño. También se justifica el reemplazo completo de la unidad fusible (sin incluir accesorios) después de que opere.

El mantenimiento se limita a inspecciones una vez cada 20 años. Exceptuando estas inspecciones no es necesario el reemplazo de las unidades fusibles para prevenir daños inadvertidos en los elementos de los mismos causados por efectos coro-

na, corrosión, vibración o debilitamiento debido a envejecimiento; ni tampoco es necesario cambiar fusibles que no se han fundido despues que una falla tri fásica o de línea a línea es interrumpida.

#### TIPO SMD-50 - INTEMPERIE

Los fusibles de potencia SMD-50 han sido diseñados para ser usados en el tipo de subestación de distribución de tamaño pequeño a mediano, al aire libre, que suministra servicio eléctrico a zonas rurales, comunidades pequeñas e instalaciones industriales aisladas pero importantes. Esta clase económica de fusible SMD ofrece una unidad completa para conmutación y protección en instalaciones de subtransmisión de 34.5 hasta 69 KV, donde el nivel de fallas es relativamente bajo y la capacidad de transformación se extiende desde 500 hasta 5,000 Kva. Elimina la necesidad de instalar por separado desconectores (seccionadores) en serie. Dentro de su margen de aplicación, el SMD-50 puede ser empleado para conmutar la corriente de magnetización en cualquier tamaño de transformadores de potencia modernos. Como un dispositivo desconectador, la acción "de caída" del SMD-50 no solamente proporciona una apertura visible, sino que también puede usarse para restablecer el circuito, además puede ser cerrado de un sólo golpe sin vigilarlo o guiarlo cuidadosamente; cierra positivamente y permanece fijo en esa posición.

Mientras que se ha considerado, en las aplicaciones del SMD-50, el factor de rendimiento por inversión; el cual ha servido de guía en el diseño de este fusible, no se ha escatimado ni la calidad ni el alcance de protección del mismo en sistemas de subtransmisión o en transformadores. Cuando se instalan en los primarios de transformadores de potencia lo mismo pequeños que medianos, el SMD-50 brinda la misma clase de protección completa de falla que se ha definido para los fusibles de potencia SMD-1A, SMD-2B y SMD-2C. Al igual que esta clase de fusibles, el SMD-50 ofrece idénticas características de tiempo-corriente y la misma cualidad de un servicio mínimo de mantenimiento.

## TIPO SMD-20 - INTEMPERIE - INTERIOR

Los fusibles de potencia SMD-20 se han introducido en el mercado a fin de satisfacer la demanda de equipos protectores que cubran fallas más extensas, voltajes más altos y cargas mayores que en la actualidad son comunes en las redes de distribución a la intemperie. Estos fusibles se ofrecen en dos estilos para su uso en postes que soportan las líneas aéreas en los sistemas de alimentación para distribución y en instalaciones en subestaciones de distribución a la intemperie. El fusible de potencia SMD-20 "de caída" estilo alimentador, se puede obtener para cargas hasta de 200 amperes en redes de distribución aéreas con voltajes de 4.16 hasta 24.9KV (o hasta 20/34.5KV GrY); además ha sido diseñado especialmente para resistir la severidad de fallas de 20.000 amperes. Hasta su introducción en el mercado, el único fusible económico diseñado para ser usado en la parte superior de postes, era el cortacircuito convencional "de caída" para sistemas de distribución, con su fusible "de laminilla y tubo portafusible forrado con fibra. Sin embargo, el cortacircuito, no es adecuado para interrumpir fallas mayores de 10.000 amperes si se consideran el riesgo y el ruido producidos por la violencia del escape, inherente en la acción de expulsión de esta clase de fusibles. Con el método recién descubierto de emplear materiales sólidos para lograr la interrupción de fallas dentro del conjunto de fusible; el SMD-20 es único también porque siendo un fusible de potencia para uso en la parte superior de postes, ofrece además las ventajas de un diseño de líneas compactas, peso liviano y precio módico.

Mientras que el fusible SMD-20 estilo alimentador, (para instalación directa al poste o en cruceta), se destaca por sus características únicas, al mismo tiempo, brinda una economía adicional en instalaciones de subestaciones para redes de distribución con voltajes hasta 34.5Kv. Su selección entre cinco diferentes modos de instalarlo en subestaciones ofrece una flexibilidad máxima en su aplicación.

El SMD-20 con su capacidad de interrupción que cubre la gama completa de fallas puede realizar una gran cantidad de servicios de protección. Cuando se instala en los



primarios de transformadores de potencia situados en subestaciones, protege los circuitos de líneas aéreas y cables subterráneos durante fallas permanentes, ya sean pequeñas, medianas o extensas sin fundirse o dañarse durante fallas transitorias. Y cuando se instala en la parte superior de postes en los sistemas de alimentación para distribución, interrumpe toda clase de fallas permanentes en puntos de seccionamiento, en las interconexiones de las líneas aéreas y los cables subterráneos y en los transformadores de distribución. El SMD-20 ofrece la misma protección completa de falla que el tipo de fusibles SMD para transmisión, así como también idénticas características de tiempo-corriente y un servicio sin mantenimiento.

El funcionamiento de escape del fusible de potencia SMD-20 es silencioso y moderado. La intensidad relativa de ruido del SMD-20 es apenas 5% de la de un cortacircuito "de caída" para distribución. El fusible SMD-20 es fácil de cerrar y de abrir usando cualquier pértiga. Se puede cerrar de un sólo golpe desde cualquier ángulo cuando exista la posibilidad de cerrar contra una falla. Por consiguiente, al usar este fusible, se elimina la necesidad de instalar desconectadores (seccionadores) en serie, ya que la conmutación de carga total es posible hasta su voltaje nominal de 23 Kv, porque el SMD-20 viene equipado con enganche especial para usar el "Loadbuster". Esto brinda las ventajas adicionales de poder conmutar carga en todos los puntos a un precio módico que resultan al operar con el dispositivo portátil interruptor de carga de la S&C "Loadbuster".



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

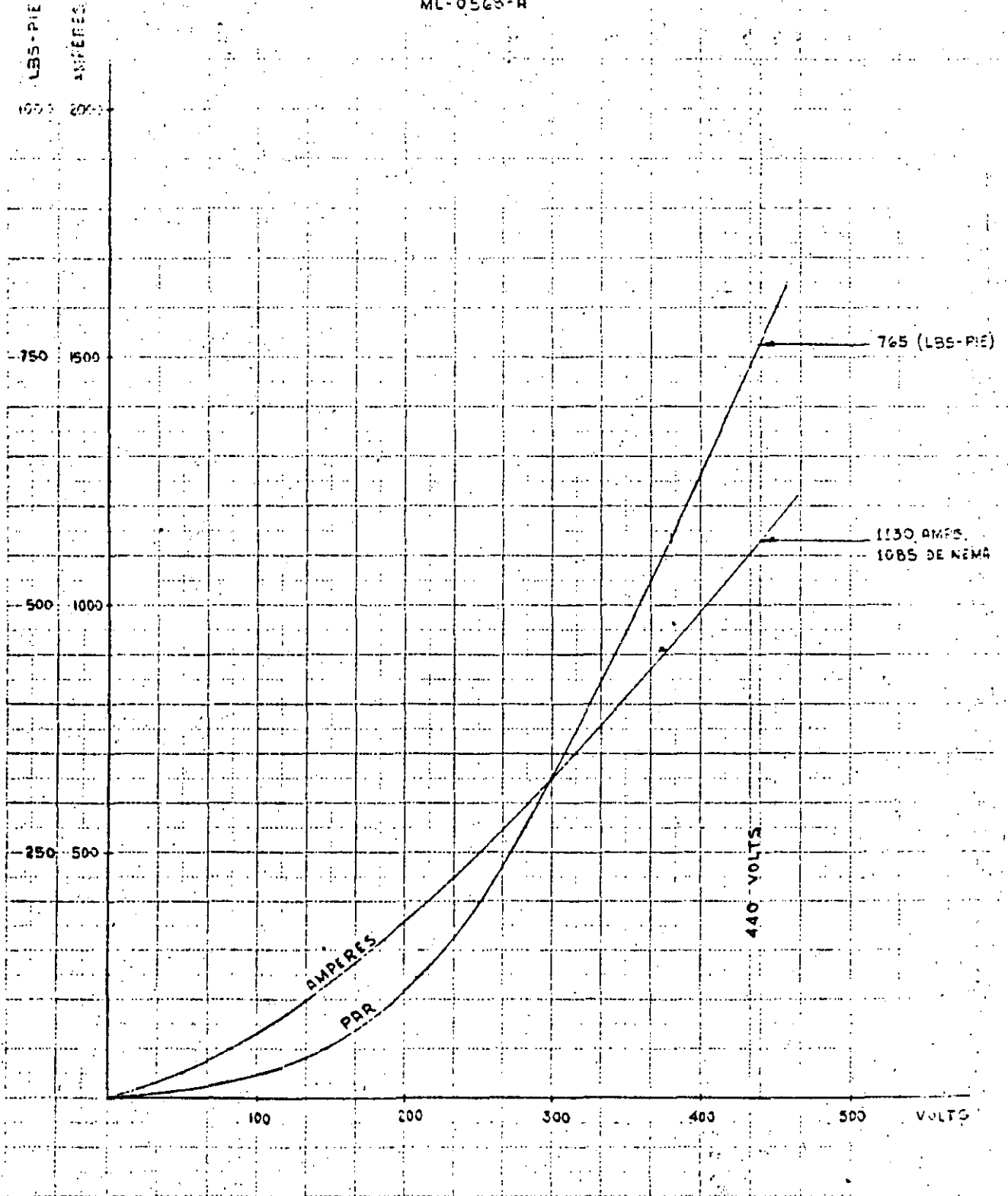
**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO**

**T A B L A S**

**-ANEXOS-**

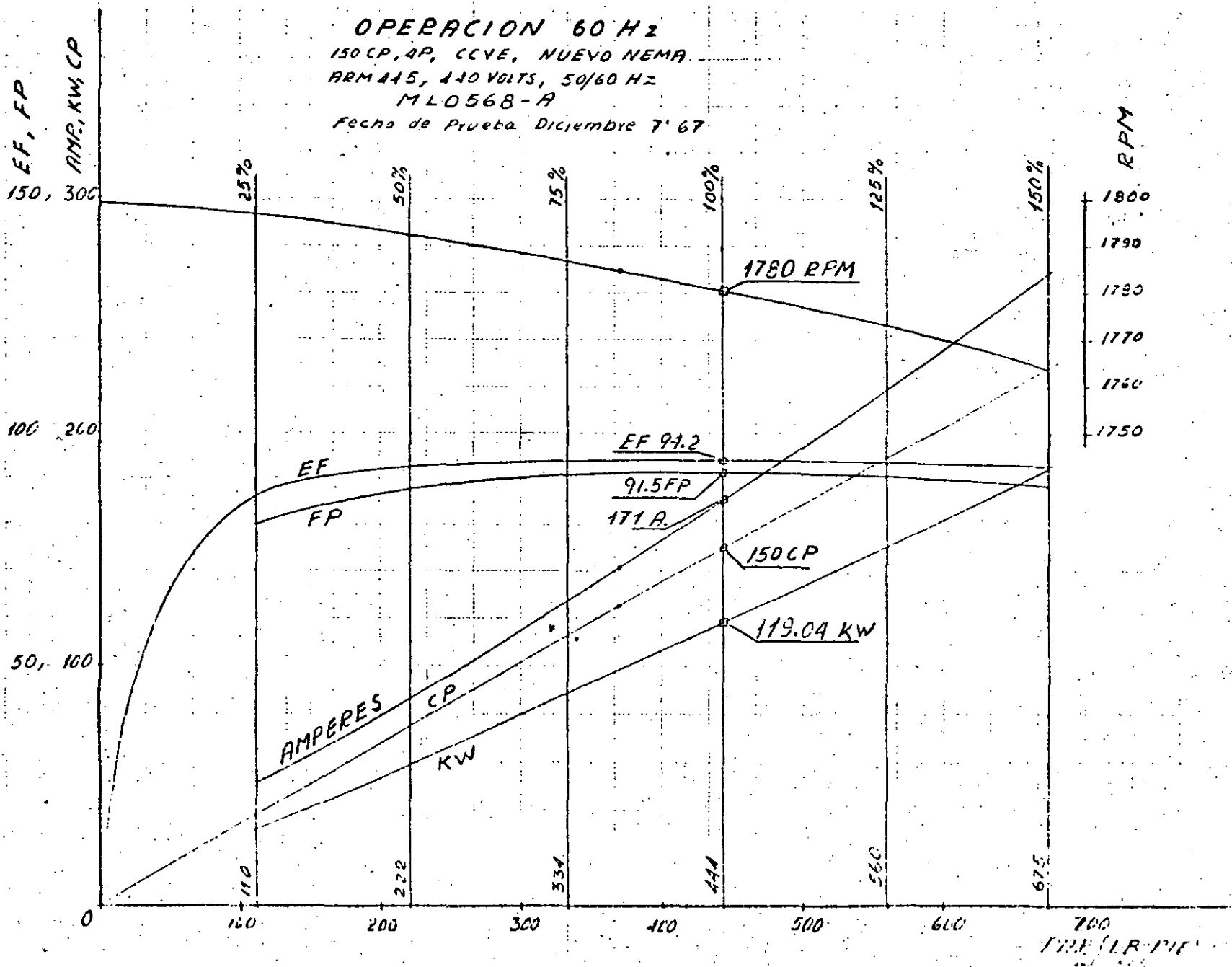
OCTUBRE, 1984.

SATURACION MOTOR BLOQUEADO 60 HZ.  
 150 C.P. 4 POLOS CGVE, NUEVO NEMA  
 ARM. 445, 440 VOLTS, 50/60 HZ.  
 ML-0568-A



J. CAMERO O.

**OPERACION 60 Hz**  
 150 CP, AP, CCVE, NUEVO NEMA  
 ARM 445, 440 VOLTS, 50/60 Hz  
 M L 0568-A  
 Fecha de Prueba Diciembre 7 '67



(3)

DISEÑO	PAR DE ARRANQUE	CORRIENTE DE ARRANQUE	PAR MAXIMO	DESlizAMIENTO A 100% CARGA	APLICACION TIPICA
A	NORMAL	NORMAL	ALTO	BAJO (>5)	MAQ.HERRAMIENTAS BOMBAS CENTRIFUGAS VENTILADORES
B	NORMAL	BAJA	ALTO	BAJO (>5)	IGUAL QUE DISEÑO A.
C	ALTO	BAJA	NORMAL	BAJO (>5)	COMPRESORES CAR - GADOS TRANSPORTA - DORES CARGADOS.
D	MUY ALTO	BAJA	--	ALTO	TROQUELADORAS CIZALLAS.

SUPONIENDO QUE LA EFICIENCIA Y EL F.P. TIENEN UN VALOR DE 88% (APROX.)

LA CORRIENTE NOMINAL DE UN MOTOR DE INDUCCION, TIPO JAULA PRACTICAMENTE SERA:

PARA 550 VOLTS: 1 AMP/FASE/HP

440 VOLTS: 1.25 AMP/FASE/HP

220 VOLTS: 2.50 AMP/FASE/HP

UNA BUENA REGLA DE "DEDO" QUE ES NECESARIO RECORDAR ES PARA CONOCER CUAL ES EL PAR A PLENA CARGA EXPRESADO EN LIBRAS-PIE DE CUALQUIER MOTOR DE INDUCCION, DE 4 POLOS (UNICAMENTE) SOLO ES NECESARIO MULTIPLICAR POR 3 LA POTENCIA EXPRESADA EN H.P. POR EJEMPLO:

$$HP = 5$$

$$RPM = 1760$$

$$P = 4 \quad T_N = 5 \times 3 = 15 \text{ LB-PIE}$$

Y USANDO LA FORMULA GENERAL TENEMOS

$$T_N = \frac{5250 \times 5}{1760} = 14.91 \text{ LB-PIE} \approx 15 \text{ LB-PIE}$$

SIGUIENDO UNA SIMILITUD

PARA 2, 6 Y 8 POLOS, LAS CONSTANTES SON:

POLOS	CONSTANTE (LB-PIE)
2	1.5
4	3.0
6	4.5
8	6.0

FIG 13-1.01 FRAME DESIGNATIONS FOR SINGLE-PHASE, DESIGN L, HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM, OPEN TYPE, 1.15 SERVICE FACTOR, 230 VOLTS AND LESS

Hp	Speed, Rpm		
	3600	1800	1200
3/4	...	...	145T
1	...	143T	182T
1 1/2	143T	145T	184T
2	145T	182T	...
3	182T	184T	...
5	184T	213T	...
7 1/2	213T	215T	...

NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations. Suggested Standard for Future Design 7-7-1965, revised 11-11-1965, NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

MG 13-1.02 FRAME DESIGNATIONS FOR POLYPHASE, SQUIRREL-CAGE, DESIGNS A AND B, HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM, OPEN TYPE, 1.15 SERVICE FACTOR, 575 VOLTS AND LESS \*

Hp	Speed, Rpm			
	3600	1800	1200	900
1/2	...	...	...	143T
3/4	...	...	143T	145T
1	...	143T	145T	182T
1 1/2	143T	145T	182T	184T
2	145T	145T	184T	213T
3	145T	182T	213T	215T
5	182T	184T	215T	254T
7 1/2	184T	213T	254T	256T
10	213T	215T	256T*	284T
15	215T	254T	284T	286T
20	254T	256T	286T	324T
25	256T	284T	324T	326T
30	284TS	286T	326T	364T
40	286TS	324T	364T	365T
50	324TS	326T	365T	404T
60	326TS	364TS†	404T	405T
75	364TS	365TS†	405T	444T
100	365TS	404TS†	444T	445T
125	404TS	405TS†	445T	...
150	405TS	444TS†	...	...
200	444TS	445TS†	...	...
250 ‡	445TS	...	...	...

\* The voltage rating of 115 volts applies only to motors rated 15 horsepower and smaller.

† When motors are to be used with V-belt or chain drives, the correct frame size is the frame size shown but with the suffix letter S omitted. For the corresponding shaft extension dimensions, see MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1.

‡ The 250 horsepower rating at the 3600 rpm speed has a 1.0 service factor.

NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations. Suggested Standard for Future Design 1-21-1964, revised 11-12-1964; 7-7-1965; 11-11-1965; 8-20-1966, NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

MG 13-1.03 FRAME DESIGNATIONS FOR POLYPHASE, SQUIRREL-CAGE, DESIGNS A AND B,  
HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM,  
TOTALLY-ENCLOSED FAN-COOLED TYPE, 1.00 SERVICE FACTOR, 575 VOLTS AND LESS \*

Hp	Speed, Rpm			
	3600	1800	1200	900
1/2	...	...	...	143T
3/4	...	...	143T	145T
1	...	143T	145T	182T
1 1/2	143T	145T	182T	184T
2	145T	145T	184T	213T
3	182T	182T	213T	215T
5	184T	184T	215T	254T
7 1/2	213T	213T	254T	256T
10	215T	215T	256T	284T
15	254T	254T	284T	286T
20	256T	256T	286T	324T
25	284TS	284T	324T	326T
30	286TS	286T	326T	364T
40	324TS	324T	364T	365T
50	326TS	326T	365T	404T
60	364TS	364TS†	404T	405T
75	365TS	365TS†	405T	444T
100	405TS	405TS†	444T	445T
125	444TS	444TS†	445T	...
150	445TS	445TS†	...	...
200	...	...	...	...
250	...	...	...	...

\* The voltage rating of 115 volts applies only to motors rated 15 horsepower and smaller.

† When motors are to be used with V-belt or chain drives, the correct frame size is the frame size shown but with the suffix letter S omitted. For the corresponding shaft extension dimensions, see MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1.

NOTE--See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations.

Suggested Standard for Future Design 1-21-1964, revised 11-12-1964; 7-7-1965, 11-11-1965,  
NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

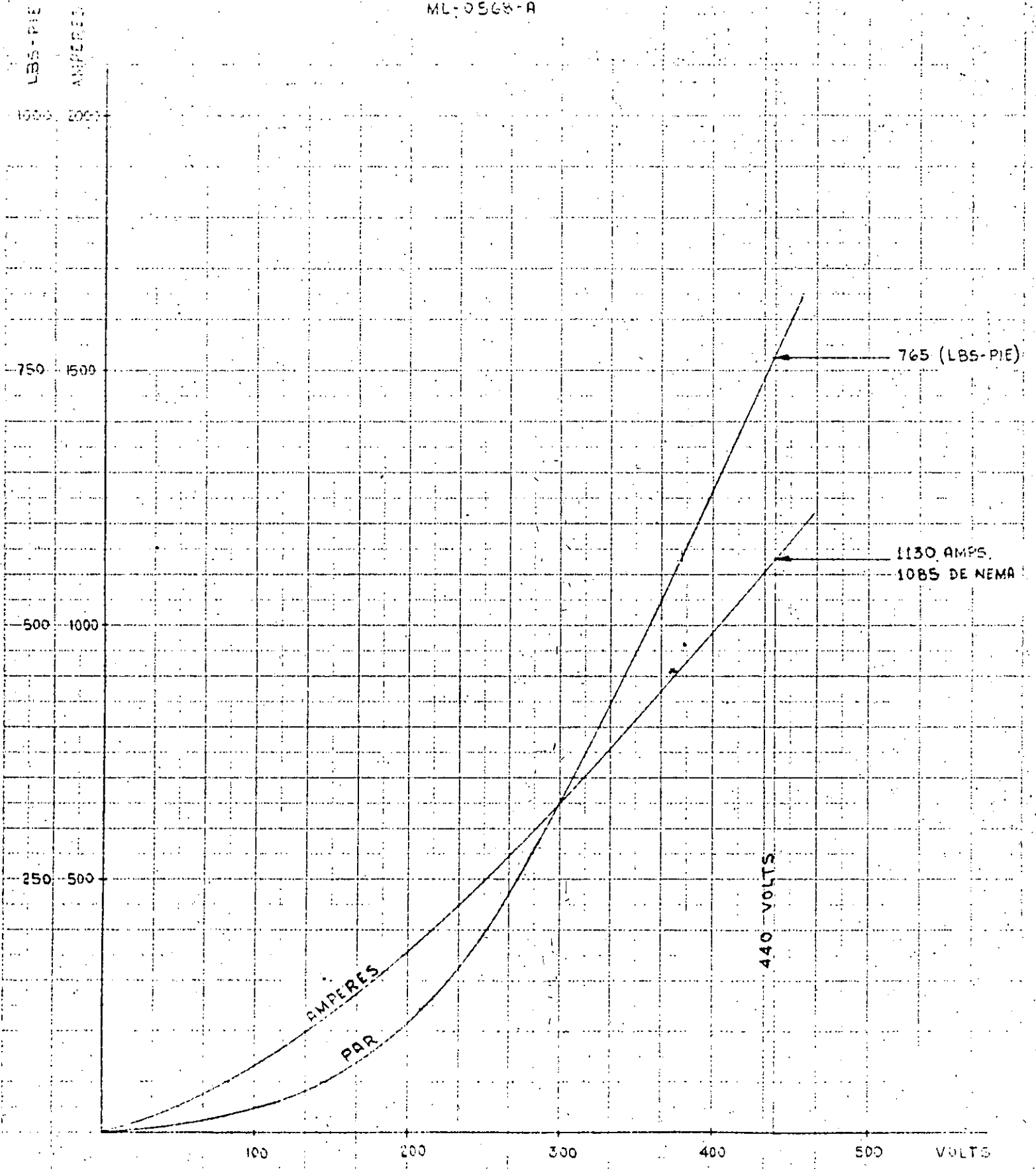
6

SATURACION ROTOR BLOQUEADO 60 HZ.

150 C.P. 4 POLOS CCVE, NUEVO NEMA

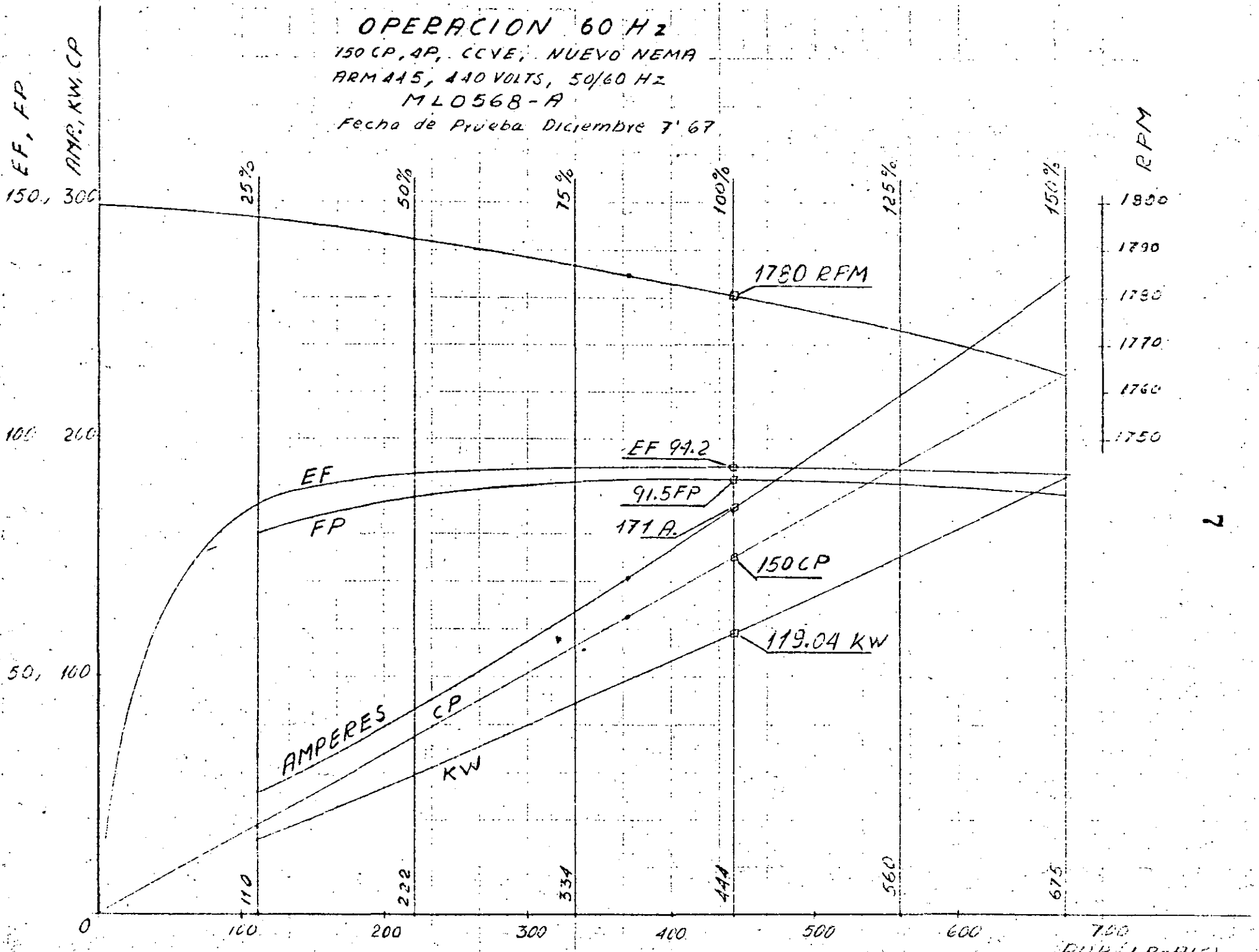
ARM. 445, 440 VOLTS, 50/60 HZ.

ML-0568-A





**OPERACION 60 HZ**  
 150 CP, AP, CCYE, NUEVO NEMA  
 ARMA 445, 440 VOLTS, 50/60 HZ  
 MLD568-A  
 Fecha de Prueba Diciembre 7 '67



DISEÑO	PAR DE ARRANQUE	CORRIENTE DE ARRANQUE	PAR MAXIMO	DESLIZAMIENTO A 100% CARGA	APLICACION TIPICA
A	NORMAL	NORMAL	ALTO	BAJO (>5)	MAQ. HERRAMIENTAS BOMBAS CENTRIFUGAS VENTILADORES
B	NORMAL	BAJA	ALTO	BAJO (>5)	IGUAL QUE DISEÑO A.
C	ALTO	BAJA	NORMAL	BAJO (>5)	COMPRESORES CAR - GADOS TRANSPORTA - DORES CARGADOS.
D	MUY ALTO	BAJA	--	ALTO	TROQUELADORAS CIZALLAS.

SUPONIENDO QUE LA EFICIENCIA Y EL F.P. TIENEN UN VALOR DE 88% (APROX.)

LA CORRIENTE NOMINAL DE UN MOTOR DE INDUCCION, TIPO JAULA PRACTICAMENTE SERA:

PARA 550 VOLTS: 1 AMP/FASE/HP

440 VOLTS: 1.25 AMP/FASE/HP

220 VOLTS: 2.50 AMP/FASE/HP

MG 13-1.01 FRAME DESIGNATIONS FOR SINGLE-PHASE, DESIGN L, HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM, OPEN TYPE, 1.15 SERVICE FACTOR, 230 VOLTS AND LESS

Hp	Speed, Rpm		
	3600	1800	1200
3/4	...	...	145T
1	...	143T	182T
1 1/2	143T	145T	184T
2	145T	182T	...
3	182T	184T	...
5	184T	213T	...
7 1/2	213T	215T	...

NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations. Suggested Standard for Future Design 7-7-1965, revised 11-11-1965, NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

MG 13-1.02 FRAME DESIGNATIONS FOR POLYPHASE, SQUIRREL-CAGE, DESIGNS A AND B, HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM, OPEN TYPE, 1.15 SERVICE FACTOR, 575 VOLTS AND LESS \*

Hp	Speed, Rpm			
	3600	1800	1200	900
1/2	...	...	...	143T
3/4	...	...	143T	145T
1	...	143T	145T	182T
1 1/2	143T	145T	182T	184T
2	145T	145T	184T	213T
3	145T	182T	213T	215T
5	182T	184T	215T	254T
7 1/2	184T	213T	254T	256T
10	213T	215T	256T*	284T
15	215T	254T	284T	286T
20	254T	256T	286T	324T
25	256T	284T	324T	326T
30	284TS	286T	326T	364T
40	286TS	324T	364T	365T
50	324TS	326T	365T	404T ✓
60	326TS	364TS†	404T ✓	405T ✓
75	364TS	365TS†	405T ✓	444T
100	365TS	404TS†	444T	445T
125	404TS ✓	405TS†	445T	...
150	405TS	444TS†	...	...
200	444TS	445TS†	...	...
250 ‡	445TS	...	...	...

\* The voltage rating of 115 volts applies only to motors rated 15 horsepower and smaller.  
 † When motors are to be used with V-belt or chain drives, the correct frame size is the frame size shown but with the suffix letter S omitted. For the corresponding shaft extension dimensions, see MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1.  
 ‡ The 250 horsepower rating at the 3600 rpm speed has a 1.0 service factor.  
 NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations. Suggested Standard for Future Design 1-21-1964, revised 11-12-1964; 7-7-1965; 11-11-1965; 8-20-1966, NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

UNA BUENA REGLA DE "DEDO" QUE ES NECESARIO RECORDAR ES:  
 PARA CONOCER CUAL ES EL PAR A PLENA CARGA EXPRESADO EN  
 LIBRAS-PIE DE CUALQUIER MOTOR DE INDUCCION, DE 4 POLOS  
 (UNICAMENTE) SOLO ES NECESARIO MULTIPLICAR POR 3 LA PO-  
 TENCIA EXPRESADA EN H.P. POR EJEMPLO:

$$HP = 5$$

$$RPM = 1760$$

$$P = 4$$

$$T_N = 5 \times 3 = 15 \text{ LB-PIE}$$

Y USANDO LA FORMULA GENERAL TENEMOS

$$T_N = \frac{5250 \times 5}{1760} = 14.91 \text{ LB-PIE} \approx 15 \text{ LB-PIE}$$

SIGUIENDO UNA SIMILITUD

PARA 2, 6 Y 8 POLOS, LAS CONSTANTES SON:

POLOS	CONSTANTE (LB-PIE)
2	1.5
4	3.0
6	4.5
8	6.0

MG 13-1.03 FRAME DESIGNATIONS FOR POLYPHASE, SQUIRREL-CAGE, DESIGNS A AND B, HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM, TOTALLY-ENCLOSED FAN-COOLED TYPE, 1.00 SERVICE FACTOR, 575 VOLTS AND LESS \*

Hp	Speed, Rpm			
	3600	1800	1200	900
1/2	...	...	...	143T
3/4	...	...	143T	145T
1	...	143T	145T	182T
1 1/2	143T	145T	182T	184T
2	145T	145T	184T	213T
3	182T	182T	213T	215T
5	184T	184T	215T	254T
7 1/2	213T	213T	254T	256T
10	215T	215T	256T	284T
15	254T	254T	284T	286T
20	256T	256T	286T	324T
25	284TS	284T	324T	326T
30	286TS	286T	326T	364T
40	324TS	324T	364T	365T
50	326TS	326T	365T	404T
60	364TS	364TS†	404T	405T
75	365TS	365TS†	405T	444T
100	405TS	405TS†	444T	445T
125	444TS	444TS†	445T	...
150	445TS	445TS†	...	...
200	...	...	...	...
250	...	...	...	...

\* The voltage rating of 115 volts applies only to motors rated 15 horsepower and smaller.

† When motors are to be used with V-belt or chain drives, the correct frame size is the frame size shown but with the suffix letter S omitted. For the corresponding shaft extension dimensions, see MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1.

NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations.

Suggested Standard for Future Design 1-21-1964, revised 11-12-1964; 7-7-1965, 11-11-1965, NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.



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

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

T A B L A S

OCTUBRE, 1983

PROGRAM ME7337 IDENT FH057 S.O.FUTURE IEM G.O.HERRANDEZ DATE-121482 IOZEMGR-DON NAPORA PAGE 2

TYPE	FRAME	H.P.	POLES	FREQ	ENCL	(RISE)SF	S.F.	TIME	DESIGN	VOLTAGE (VRS) CLASS
LF	5010L	300.0	6.	60.0	FC	80.	1.00	24.00	A	4160. S

PHASE	LINE VOLTAGE	WIRE TYPE	WIRE COND	WIRE WEIGHT	PHASE BELTS	* * * CORE LENGTH * * *	STATOR (IRON) ROTOR	STATOR	ROTOR	SINGLE AIR-GAP
3.	4160.	61152CL	1.011	.989	60.	7 21.000	20.625	20.625	13.180	18.986 .0470

STATOR	WIRE	PURCHING	VENTS	SLOTS	IRON	THICK	ROTOR BAR	END-RING
ROTOR	MC 11156	3 677BSUSH01	1X .375	106.	10502PF	.018	774A395S13A	UPPER 2 185C610R22 LOWER 2 185C610R22

ROISE	LOCKING	(+)CUSP	(-)CUSP	SHAFT	(F+W)NL	SKEN RING COND	COND (BAR) LENGTH	WIDTH (BAR) DEPTH
				M	3904.8	.000	.950	1.000 25.240

UNIT P	UNIT E	UNIT I	UNIT Z	UNIT Y	UNIT R	(WKK)ATR	SHAFT	F-INT BLOWER-R	F-EXT BLOWER-R
223800.	2401.6	31.060	77.526	1312.96	1200.	453.4	14.5	10.5	10.3

LB-CH	THROU	BALANCE	CONN	PAR	TPC	MCL	VCHI	VR	VB	CAL. (LGET) MAX.
294.85	13.	YES	Y	1.	8.	39.097	686.002	143.964	622.750	39.690 43.900

WI	32	TK1	PI	TK2	PZ	M	SPACE-W	SPACE-D	ARR	KVAR	(PF)FLC
.162	.000	.091	1	.000	0	1	.004	.044	.00132	51.0	98.1

(25.C)RTI(105.C)	(I)NL	(H)NL	*XM	*CORE	(B)AG	(B)T1	(B)T2	(B)C1	(B)C2	(B)T1Y
1.6558	2.1656	7.366	6639.	4.09977	.01141	31.80	63.10	66.03	71.05	36.64

LOCKED ROTOR(1)	100.00-75C	0.	.0	23.4	.00	1326.01	387653.	387653.	250.287	532.14
LOCKED ROTOR(2)	100.00-105C	0.	.0	24.7	.00	1366.00	406300.	406300.	227.641	571.30

BREAK	DOWN	5.48	1134.	84.4	68.4	752.41	3463.86	665408.	104323.	135.023	200.57
1-1/4	LOAD	1.23	1185.	93.5	92.1	375.07	1061.89	249301.	19594.	45.095	22.36

LOCKED ROTOR(1)	.01275	.01913	.08282	.04890	.00000	1.00994	1.73304	1.73304	7.41419	75.6
LOCKED ROTOR(2)	.01399	.02014	.08291	.04978	.00000	1.00403	1.61546	1.61546	7.33549	76.2

BREAK	DOWN	.01399	.00808	.08736	.07738	2.50803	2.55344	2.97323	.46614	4.34711	94.6
1-1/4	LOAD	.01399	.00808	.09141	.08280	1.25024	1.26576	1.33736	.08755	1.05134	100.0

LOSSSES(WATTS)	CORE	(C)I1	(C)I2	FFW	S.L.	TOTAL X TRANSIENT	*XD	*XD'	(C)OC	(C)SC
1.15-LOAD	2554.	5550.	2941.	5775.	2907.	17727. X NO KVAR	4.191	.15234	1.37	.0899

PERFORMANCE POT/FLT (S)FL (EFF)FL (PF)FL TS/FLT (KVA/HP)S SCORE (RISE)SF  
 SPECIFIED 1.75 .0-2.5 92.6 85.6 1.00 6.30 80.  
 CALCULATED 2.63 .9 93.7 92.5 1.00 5.53 64.(ALT. 7500.FT)







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

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

DIMENSIONES

OCTUBRE, 1984

## Part 11

### DIMENSIONS

# AC AND DC FRACTIONAL- AND INTEGRAL-HORSEPOWER MOTORS AND GENERATORS

#### MG 1-11.01 System for Designating Frames

The system for designating frames of motors and generators shall consist of a series of numbers in combination with letters, defined as follows:

##### A. FRACTIONAL-HORSEPOWER MACHINES

The frame number for fractional-horsepower machines shall be the D dimension in inches multiplied by 16.

The letters C, G, H, J, K, M, N, Y and Z shall immediately follow the frame number to denote variations as follows:

- C—Face mounting (see MG 1-11.35 and MG 1-11.63).
- G—Gasoline pump motors (see MG 1-18.266).
- H—Indicates a frame having an F dimension larger than that of the same frame without the suffix letter H (see MG 1-11.31 and MG 1-11.61).
- J—Jet pump motors (see MG 1-18.341).
- K—Sump pump motors (see MG 1-18.240).
- M—Oil burner motors (see MG 1-18.290).
- N—Oil burner motors (see MG 1-18.290).
- Y—Special mounting dimensions (dimensional diagram must be obtained from the manufacturer).
- Z—All mounting dimensions are standard except the shaft extension.

**NOTE**—The letters B, S, T, U, V, W and X are reserved for possible future use. For their own convenience, manufacturers may use any letter in the alphabet preceding the frame number, but such a letter will have no reference to standard mounting dimensions. (This note is approved as Authorized Engineering Information.)

##### B. INTEGRAL-HORSEPOWER MOTORS

The system for numbering the frames of integral-horsepower machines shall be as follows:

1. The first two digits of the frame number are equal to four times the D dimension in inches. When this product is not a whole number, the first two digits of the frame number shall be the next higher whole number.
2. The third digit of the frame number is obtained from the value of 2F in inches by referring to the columns headed 0 to 15, inclusive, in Table 11-1.

The letters A, C, CH, D, E, HP, HPH, JM, JP, LP, LPH, P, PH, R, S, T, U, V, VP, X, Y or Z shall immediately follow the frame number to denote variations as follows:

A—Industrial direct-current motor or generator.

C—Face mounting on drive end.\*

CH—Face mounting dimensions are different from those for the frame designation having the suffix letter C. (The letters CH are to be considered as one suffix and should not be separated.)

D—Flange mounting on drive end.†

E—Shaft extension dimensions for elevator motors in frames larger than the 326U frame.

HP and HPH—Vertical solid-shaft motors having dimensions in accordance with MG 1-18.625. (The letters HP and HPH are to be considered as one suffix and should not be separated.)

JM—Face-mounted close-coupled pump motor having antifriction bearings and dimensions in accordance with Table 1 of MG 1-18.614. (The letters JM are to be considered as one suffix and should not be separated.)

JP—Face-mounted close-coupled pump motor having antifriction bearings and dimensions in accordance with Table 2 of MG 1-18.614. (The letters JP are to be considered as one suffix and should not be separated.)

LP and LPH—Vertical solid-shaft motors having dimensions in accordance with MG 1-18.620. (The letters LP and LPH are to be considered as one suffix and should not be separated.)

P and PH—Vertical hollow-shaft motors having dimensions in accordance with MG 1-18.591.

R—Drive end tapered shaft extension having dimensions in accordance with MG 1-11.32.

S—Standard short shaft for direct connection (see dimension tables).

T—Included as part of a frame designation for which standard dimensions have been established (see dimension tables).

U—Previously used as part of a frame designation for which standard dimensions had been established (no longer included in this publication).

\* When the face mounting is at the end opposite the drive, the prefix P shall be used, making the suffix letters FC.  
† When the flange mounting is at the end opposite the drive, the prefix F shall be used, making the suffix letters FD.

**NOTE**—The letter W is reserved for possible future use. For their own convenience, manufacturers may use any letter in the alphabet preceding the frame number, but such a letter will have no reference to standard mounting dimensions. (This note is approved as Authorized Engineering Information.)

- V—Vertical mounting only.
- VP—Vertical solid-shaft motors having dimensions in accordance with MG 1-18.590. (The letters VP are to be considered as one suffix and should not be separated.)
- X—Wound-rotor crane motors with double shaft extension (see MG 1-18.506 and MG 1-18.520).
- Y—Special mounting dimensions (dimensional diagram must be obtained from the manufacturer).
- Z—All mounting dimensions are standard except the shaft extension(s). Also used to designate machine with double shaft extension.

Suffix letters shall be added to the frame number in the following sequence:

Suffix Letters	Sequence
A	1
T, U, HP, HPH, JM, JP, LP, LPH and VP	2
R and S	3
C, D, P and PH	4
FC and FD	5
V	6
E, X, Y and Z	7

NEMA Standard 6-24-1949, revised 11-17-1949; 8-7-1952; 11-15-1956; 6-24-1957; 11-14-1957; 11-13-1958; 11-12-1964; 11-17-1966; 11-16-1967; 7-17-1968; 11-21-1968; 7-15-1970; 7-14-1971; 5-17-1972; 1-17-1974; 1-28-1976.

TABLE 11-1

Frame Number Series	Third Digit in Frame Number								
	D	0	1	2	3	4	5	6	7
	2F Dimensions								
140	3.50	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.25
160	4.00	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.25	7.00
180	4.50	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.25	7.00	8.00
200	5.00	4.00	4.50	5.00	5.50	6.50	7.00	8.00	9.00
210	5.25	4.00	4.50	5.00	5.50	6.25	7.00	8.00	9.00
220	5.50	4.50	5.00	5.50	6.25	6.75	7.50	9.00	10.00
250	6.25	5.00	5.50	6.25	7.00	8.25	9.00	10.00	11.00
280	7.00	5.50	6.25	7.00	8.00	9.50	10.00	11.00	12.50
320	8.00	6.25	7.00	8.00	9.00	10.50	11.00	12.00	14.00
360	9.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.25	12.25	14.00	16.00
400	10.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.25	13.75	16.00	18.00
440	11.00	9.00	10.00	11.00	12.50	14.50	16.50	18.00	20.00
500	12.50	10.00	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00
580	14.50	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00
680	17.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00

Frame Number Series	Third Digit in Frame Number								
	D	8	9	10	11	12	13	14	15
	2F Dimensions								
140	3.50	7.00	8.00	10.00	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00
160	4.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.50	14.00	16.00	20.00
180	4.50	9.00	10.00	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00
200	5.00	10.00	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00
210	5.25	10.00	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00
220	5.50	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00
250	6.25	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00
280	7.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00
320	8.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00
360	9.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	40.00
400	10.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	40.00	45.00
440	11.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	40.00	45.00	50.00
500	12.50	25.00	28.00	32.00	36.00	40.00	45.00	50.00	56.00
580	14.50	28.00	32.00	36.00	40.00	45.00	50.00	56.00	63.00
680	17.00	36.00	40.00	45.00	50.00	56.00	63.00	71.00	80.00

All dimensions in inches.

Part 4

**DIMENSIONS, TOLERANCES AND MOUNTING**

**MG 1-4.01 Lettering of Dimension Sheets**

Dimension sheets shall be lettered in accordance with the following (also see Figs. 4-1 through 4-5).

Any letter dimension normally applying to the drive end of the machine will, when prefixed with the letter F, apply to the end opposite the drive.

Letter dimensions other than those listed below used by individual manufacturers should be designated by the prefix letter X followed by A, B, C, D, E, etc.

NEMA Letter	IEC Letter	Dimension Indicated
A	AB	Overall dimension across feet of horizontal machine (end view).
B	BB	Overall dimension across feet of horizontal machine (side view).
C	L	Overall length of single shaft extension machine. (For overall length of double shaft extension machine, see letter dimension FC.)
D	H	Centerline of shaft to bottom of feet.
E	...	Centerline of shaft to centerline of mounting holes in feet (end view). [NOTE—2E (IEC letter A) is the distance between centerlines of mounting holes in feet or base of machine (end view).]
2F	B	Distance between centerlines of mounting holes in feet or base of machine (side view).
G	HA	Thickness of mounting foot at H hole or slot.
H	K	Diameter of holes or width of slot in feet of machine.
J	AA	Width of mounting foot at mounting surface.
K	...	Length of mounting foot at mounting surface.
L	...	(No longer in use.)
M	...	(No longer in use.)
N	...	Length of shaft from end of housing to end of shaft, drive end.
O	HC	Top of horizontal machine to bottom of feet.
P	AC	Maximum width of machine (end view) including pole bolts, fins, etc., but excluding terminal housing, lifting devices, feet and outside diameter of face or flange.
▲R	G	Bottom of keyseat or flat to opposite side of shaft or bore.
S	F	Width of keyseat.
T	...	Height of eye bolt above top of machine.
U	D	Diameter of shaft extension. (For tapered shaft, this is a diameter at a distance V from the threaded portion of the shaft.)
V	...	Length of shaft available for coupling, pinion or pulley hub, drive end. (On a straight shaft extension, this is a minimum value.)
W	...	For straight and tapered shaft, end of housing to shoulder. (For shaft extensions without shoulders, it is a clearance to allow for all manufacturing variations in parts and assembly.)
X	...	Length of hub of pinion when using full length of taper, drive end.
Y	...	Distance from end of shaft to outer end of taper, drive end.
Z	...	Width across corners of nut or diameter of washer, on tapered shaft, drive end.
AA	...	Threaded or clearance hole for external conduit entrance (expressed in conduit size) to terminal housing.
AB	AD	Centerline of shaft to extreme outside part of terminal housing (end view).
AC	...	Centerline of shaft to centerline of hole AA in terminal housing (end view).
AD	...	Centerline of terminal housing mounting to centerline of hole AA (side view).
AE	...	Centerline of terminal housing mounting to bottom of feet (end view).
AF	...	Centerline of terminal housing mounting to hole AA (end view).
AG	LB	Mounting surface of face, flange or base of machine to opposite end of housing (side view).

(Continued)

● The material contained in Part 4 was previously contained in Part 11 and has been editorially moved to Part 4.

▲ Revised.

NEMA Letter	IEC Letter	Dimension Indicated
AH	...	Mounting surface of face, flange or base of machine to end of shaft.
AJ	M	Diameter of mounting bolt circle in face, flange or base of machine.
AK	N	Diameter of male or female pilot on face, flange or base of machine.
AL	...	Overall length of sliding base or rail.
AM	...	Overall width of sliding base or outside dimensions of rails.
AN	...	Distance from centerline of machine to bottom of sliding base or rails.
AO	...	Centerline of sliding base or rail to centerline of mounting bolt holes (end view).
AP	...	Centerline of sliding base or rails to centerline of inner mounting bolt holes (motor end view).
AR	...	Distance between centerlines of mounting holes in sliding base or distance between centerlines of rail mounting bolt holes (side view).
AT	...	Thickness of sliding base or rail foot.
AU	...	Size of mounting holes in sliding base or rail.
AV	...	Bottom of sliding base or rail to top of horizontal machine.
AW	...	Centerline of rail or base mounting hole to centerline of adjacent motor mounting bolt.
AX	...	Height of sliding base or rail.
AY	...	Maximum extension of sliding base (or rail) adjusting screw.
AZ	...	Width of slide rail.
BA	C	Centerline of mounting hole in nearest foot to the shoulder on drive end shaft. (For machine without a shaft shoulder, it is the centerline of mounting hole in nearest foot to the housing side of N-W dimension.)
BB	T	Depth of male or female pilot of mounting face, flange or base of machine.
BC	R	Distance between mounting surface of face, flange or base of machine to shoulder on shaft. (For machine without a shaft shoulder, it is the distance between the mounting surface of face, flange or base of machine to housing side of N-W dimension.)
BD	P	Outside diameter of mounting face, flange or base of machine.
BE	LA	Thickness of mounting flange or base of machine.
BF	S	Threaded or clearance hole in mounting face, flange or base of machine.
BG	...	(No longer in use.)
BH	...	Outside diameter of core or shell (side view).
BJ	...	Overall length of coils (side view). Actual dimensions may be less depending on the number of poles and winding construction.
BK	...	Distance from centerline of stator to lead end of coils.
BL	...	Diameter over coils, both ends (BL = two times maximum radius).
BM	...	Overall length of stator shell.
BN	...	Diameter of stator bore.
BO	...	Length of rotor at bore.
BP	...	Length of rotor over fans.
BR	...	Diameter of finished surface or collar at ends of rotor.
BS	...	Centerline of foot mounting hole, shaft end, to centerline of terminal housing mounting (side view).
BT	...	Movement of horizontal motor on base or rail.
BU	...	Angle between centerline of terminal housing mounting and reference centerline of motor (end view).
BV	...	Centerline of terminal housing mounting to mounting surface of face or flange (side view).
BW	...	Inside diameter of rotor fan or end ring for shell-type and hermetic motors.
BX	...	Diameter of bore in top drive coupling for hollow-shaft vertical motor.
BY	...	Diameter of mounting holes in top drive coupling for hollow-shaft vertical motor.
BZ	...	Diameter of bolt circle for mounting holes in top drive coupling for hollow-shaft vertical motor.
CA	...	Rotor bore diameter.
CB	...	Rotor counterbore diameter.

(Continued)

NEMA Letter	IEC Letter	Dimension Indicated
CC	...	Depth of rotor counterbore.
CD	...	Distance from the top of coupling to the bottom of the base on Type P vertical motors.
CE	...	Overall diameter of mounting lugs.
CF	...	Distance from the end of the stator shell to the end of the rotor quill at compressor end. Where either the shell or quill is omitted, the dimension refers to the driven load end of the core.
CG	...	Distance from the end of the stator shell to the end of the stator coil at compressor end.
CH	...	Distance from the end of the stator shell to the end of the stator coil at end opposite the compressor.
CL	...	Distance between clamp-bolt centers for two-hole clamping of universal motor stator cores.
CO	...	Clearance hole for maximum size of clamp bolts for clamping universal motor stator cores.
DB	...	Outside diameter of rotor core.
DC	...	Distance from the end of stator shell (driven load end) to the end of rotor fan or end ring (opposite driven load end). Where the shell is omitted, the dimension is to the driven load end of the stator core.
DD	...	Distance from the end of stator shell (driven load end) to the end of rotor fan or end ring (driven load end). Where the shell is omitted, the dimension is to the driven load end of the stator core.
DE	...	Diameter inside coils, both ends ( $DE = 2$ times minimum radius).
DF	...	Distance from driven load end of stator core or shell to centerline of mounting hole in lead clip or end of lead if no clip is used.
DG	...	Distance from driven load end of stator core or shell to end of stator coil (opposite driven load end).
DH	...	Centerline of foot mounting hole (shaft end) to centerline of terminal housing mounting (side view).
DJ	...	Centerline of secondary lead conduit box inlet to bottom of feet (horizontal).
DK	...	Centerline of machine to centerline of hole "DM" for secondary lead conduit entrance (end view).
DL	...	Centerline of secondary lead conduit box inlet to entrance for conduit.
DM	...	Diameter of conduit (pipe size) for secondary lead conduit box.
DN	...	Distance from the end of stator shell to the bottom of rotor counterbore (driven load end). Where the shell is omitted, the dimension is to the driven load end of the stator core.

(Continued)

NEMA Letter	IEC Letter	Dimension Indicated
DO	...	Dimension between centerlines of base mounting grooves for resilient ring mounted motors or, on base drawings, the dimension of the base which fits the groove.
DP	...	Radial distance from center of Type C face at end opposite drive to center of circle defining the available area for disc brake lead opening(s).
DQ to EK, incl.	...	(No longer in use.)
EL	...	Diameter of shaft after emergence from the mounting surface of face or flange.
EM	...	Diameter of shaft first step after EL.
EN	...	Internal threaded portion of shaft extension.
EO	...	Top of coupling to underside of canopy of vertical hollow-shaft motor.
EP	...	Diameter of shaft at emergence from bearing (face or flange end).
EQ	...	Length of shaft from mounting surface of face or flange to EL-EM interface.
ER	...	Length of shaft from EP-EL interface to end of shaft.
ES	...	Usable length of keyseat.
ET	...	Length of shaft from mounting surface of face or flange to EM-U interface.
EU	...	Diameter of shaft at bottom of ring groove.
EV	...	Distance between centerline of H hole and end of motor foot at shaft end (side view).
▲EW	...	Width of the ring groove or gib head keyseat.
EX	...	Distance from end of shaft to opposite side of ring groove keyseat.
FC	...	Overall length of double shaft extension machine. (For overall length of single shaft extension machine, see letter dimension C.)

NEMA Standard 6-24-1949, revised 6-22-1950; 6-28-1951; 8-16-1951; 11-15-1951; 11-13-1952; 7-21-1954; 11-11-1954; 11-17-1955; 6-30-1958; 11-13-1958; 6-1-1959; 5-16-1963; 7-7-1963; 1-6-1966; 11-17-1966; 7-13-1967; 11-16-1967; 7-17-1968; 11-21-1968; 11-13-1969; 7-14-1971; 7-17-1973; 7-12-1978; 1-10-1979.



Fig. 4-1. Lettering of Dimension Sheets for Foot-mounted Machines—Side View.

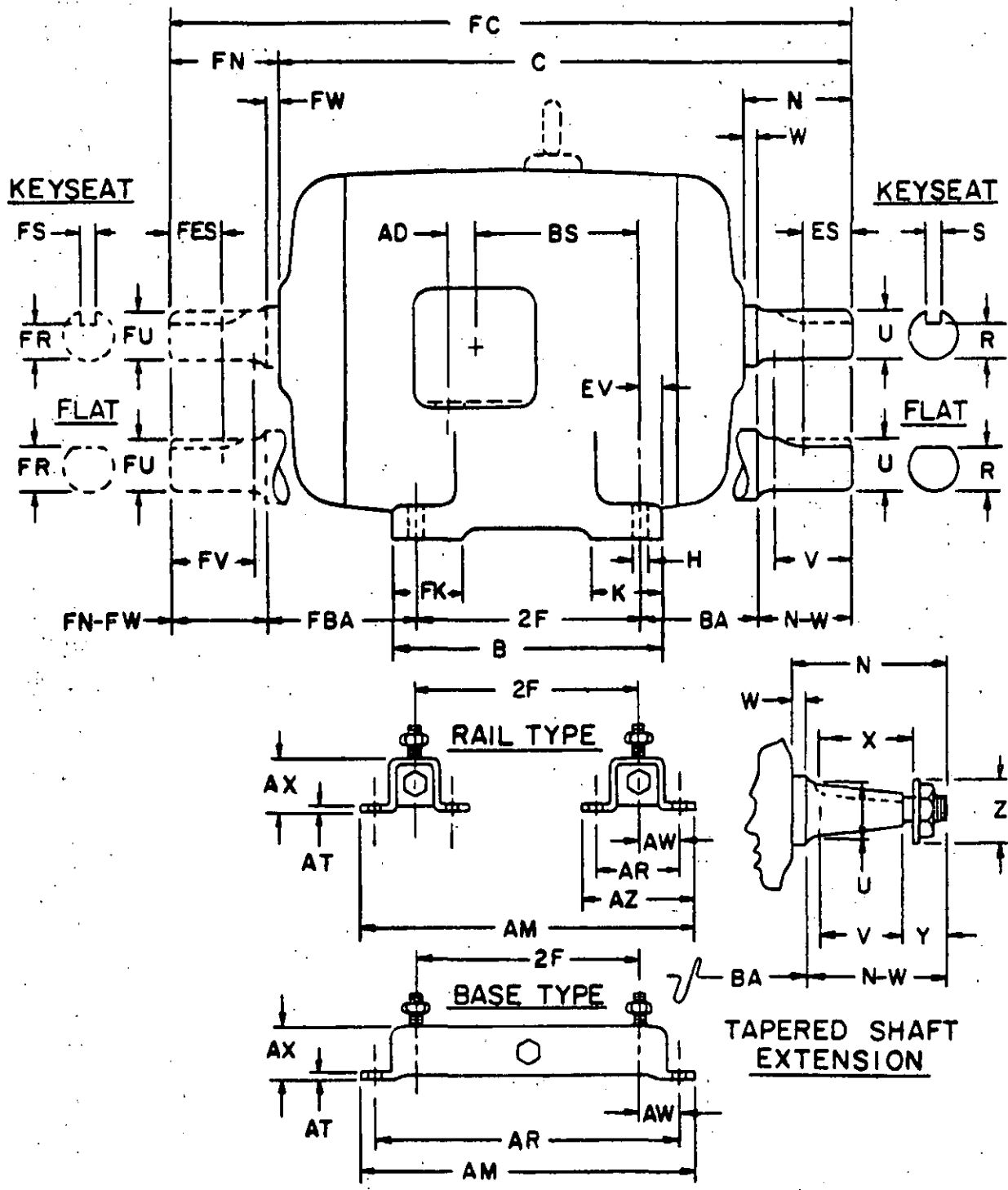
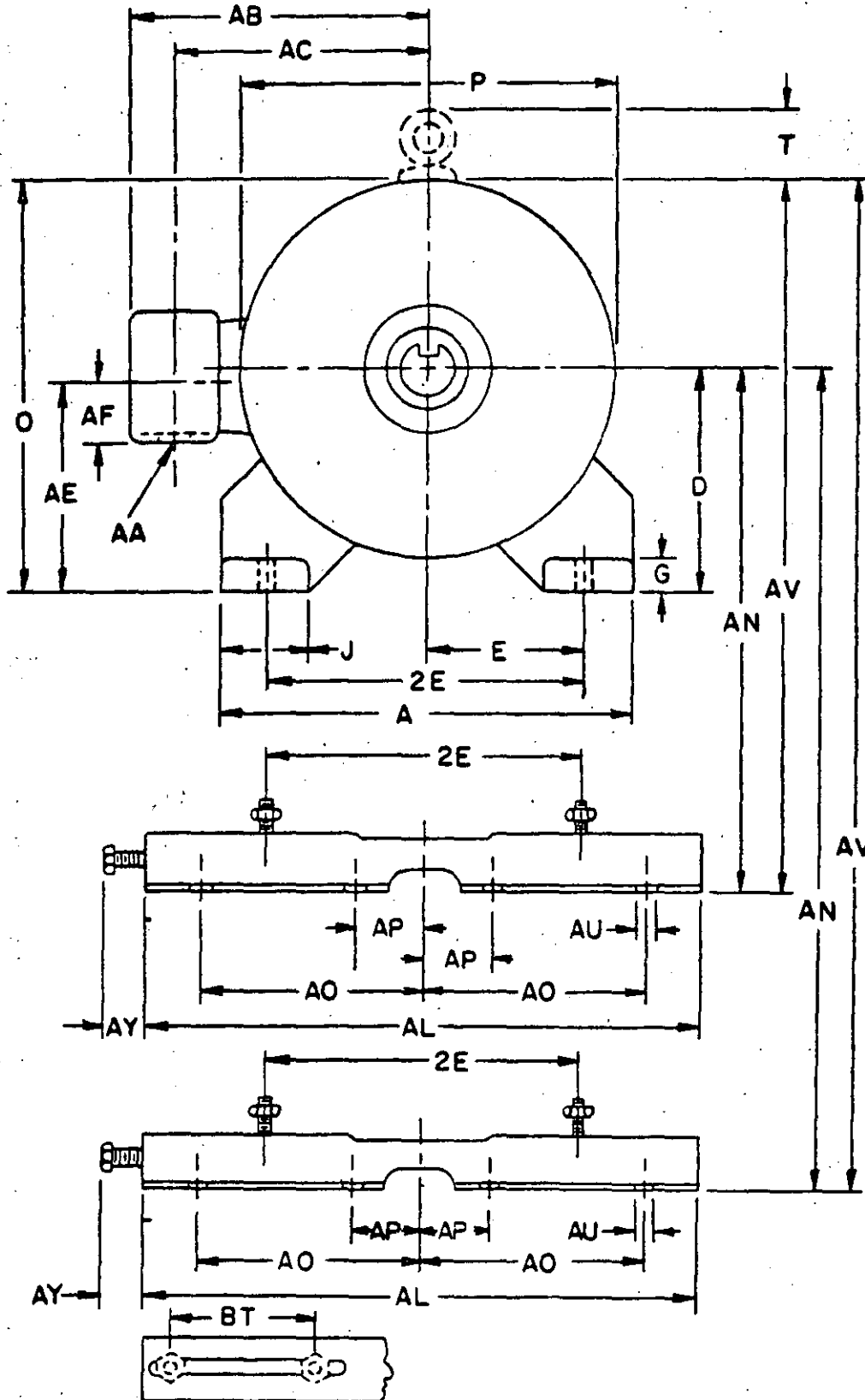


Fig. 4-2. Lettering of Dimension Sheets for Foot-mounted Machines—Drive End View.



Part 11

**DIMENSIONS**  
**AC FRACTIONAL- AND INTEGRAL-HORSEPOWER**  
**MOTORS AND GENERATORS**

**MG 1-11.30 Shaft Extension Diameters**  
**for Universal Motors**

The shaft extension diameters, in inches, shall be:

0.2500	0.3750	0.6250
0.3125	0.5000	0.7500

NOTE—For tolerances on shaft extension diameters and keyseats, see MG 1-4.05.

Recommended Standard 5-27-1924, revised 6-22-1950;  
NEMA Standard 5-17-1953.

# MG 1-11.31 Dimensions for Alternating-current Foot-mounted Motors and Generators with Single Straight-shaft Extension

Frame Designation	A Max	B Max	D*	E†	2F†	BA	H†	U	N-W	V Min	Keyseat			AA Min†
											R	ES Min	S	
42	...	...	2.62	1.75	1.69	2.06	0.28 slot	0.3750	1.12	...	0.328	...	flat	...
48	...	...	3.00	2.12	2.75	2.50	0.34 slot	0.5000	1.50	...	0.453	...	flat	...
48H	...	...	3.00	2.12	4.75	2.50	0.34 slot	0.5000	1.50	...	0.453	...	flat	...
56	...	...	3.50	2.44	3.00	2.75	0.34 slot	0.6250	1.88	...	0.517	1.41	0.188	...
56H	...	...	3.50	2.44	5.00	2.75	0.34 slot	0.6250	1.88	...	0.517	1.41	0.188	...
143T	7.0	6.0	3.50	2.75	4.00	2.25	0.34 hole	0.8750	2.25	2.00	0.771	1.41	0.188	3/4
145T	7.0	6.0	3.50	2.75	5.00	2.25	0.34 hole	0.8750	2.25	2.00	0.771	1.41	0.188	3/4
182T	9.0	6.5	4.50	3.75	4.50	2.75	0.41 hole	1.1250	2.75	2.50	0.986	1.78	0.250	3/4
184T	9.0	7.5	4.50	3.75	5.50	2.75	0.41 hole	1.1250	2.75	2.50	0.986	1.78	0.250	3/4
213T	10.5	7.5	5.25	4.25	5.50	3.50	0.41 hole	1.3750	3.38	3.12	1.201	2.41	0.312	1
215T	10.5	9.0	5.25	4.25	7.00	3.50	0.41 hole	1.3750	3.38	3.12	1.201	2.41	0.312	1
254T	12.5	10.8	6.25	5.00	8.25	4.25	0.53 hole	1.625	4.00	3.75	1.416	2.91	0.375	1 1/4
256T	12.5	12.5	6.25	5.00	10.00	4.25	0.53 hole	1.625	4.00	3.75	1.416	2.91	0.375	1 1/4
284T	14.0	12.5	7.00	5.50	9.50	4.75	0.53 hole	1.875	4.62	4.38	1.591	3.28	0.500	1 1/2
284TS	14.0	12.5	7.00	5.50	9.50	4.75	0.53 hole	1.625	3.25	3.00	1.416	1.91	0.375	1 1/2
286T	14.0	14.0	7.00	5.50	11.00	4.75	0.53 hole	1.875	4.62	4.38	1.591	3.28	0.500	1 1/2
286TS	14.0	14.0	7.00	5.50	11.00	4.75	0.53 hole	1.625	3.25	3.00	1.416	1.91	0.375	1 1/2
324T	16.0	14.0	8.00	6.25	10.50	5.25	0.66 hole	2.125	5.25	5.00	1.845	3.91	0.500	2
324TS	16.0	14.0	8.00	6.25	10.50	5.25	0.66 hole	1.875	3.75	3.50	1.591	2.03	0.500	2
326T	16.0	15.5	8.00	6.25	12.00	5.25	0.66 hole	2.125	5.25	5.00	1.845	3.91	0.500	2
326TS	16.0	15.5	8.00	6.25	12.00	5.25	0.66 hole	1.875	3.75	3.50	1.591	2.03	0.500	2
364T	18.0	15.2	9.00	7.00	11.25	5.88	0.66 hole	2.375	5.88	5.62	2.021	4.28	0.625	3
364TS	18.0	15.2	9.00	7.00	11.25	5.88	0.66 hole	1.875	3.75	3.50	1.591	2.03	0.500	3
365T	18.0	16.2	9.00	7.00	12.25	5.88	0.66 hole	2.375	5.88	5.62	2.021	4.28	0.625	3
365TS	18.0	16.2	9.00	7.00	12.25	5.88	0.66 hole	1.875	3.75	3.50	1.591	2.03	0.500	3
404T	20.0	16.2	10.00	8.00	12.25	6.62	0.81 hole	2.875	7.25	7.00	2.450	5.65	0.750	3
404TS	20.0	16.2	10.00	8.00	12.25	6.62	0.81 hole	2.125	4.25	4.00	1.845	2.78	0.500	3
405T	20.0	17.8	10.00	8.00	13.75	6.62	0.81 hole	2.875	7.25	7.00	2.450	5.65	0.750	3
405TS	20.0	17.8	10.00	8.00	13.75	6.62	0.81 hole	2.125	4.25	4.00	1.845	2.78	0.500	3
444T	22.0	18.5	11.00	9.00	14.50	7.50	0.81 hole	3.375	8.50	8.25	2.880	6.91	0.875	3
444TS	22.0	18.5	11.00	9.00	14.50	7.50	0.81 hole	2.375	4.75	4.50	2.021	3.03	0.625	3
445T	22.0	20.5	11.00	9.00	16.50	7.50	0.81 hole	3.375	8.50	8.25	2.880	6.91	0.875	3
445TS	22.0	20.5	11.00	9.00	16.50	7.50	0.81 hole	2.375	4.75	4.50	2.021	3.03	0.625	3

All dimensions in inches.

\* Dimension D will never be greater than the above values for rigid-base motors. However, it may be less, so that shims are usually required for coupled or geared machines. When the exact dimension is required, shims up to 0.03 inch may be necessary on frame sizes whose D dimension is 8.00 inches or less; on larger frames, shims up to 0.06 inch may be necessary. No tolerances have been established for the D dimension of resilient mounted motors.

† Frames 42, 48, 48H, 56 and 56H—The tolerance for the 2F dimension shall be  $\pm 0.03$  inch and for the H dimension (width of slot) shall be  $+0.02$  inch,  $-0$  inch.

Frames 143T to 445T, inclusive—The tolerance for the 2E and 2F dimensions shall be  $\pm 0.03$  inch and for the H dimension shall be  $+0.05$  inch,  $-0$  inch.

‡ For dimensions of clearance holes, see MG 1-4.04.

NOTE 1—For the meaning of the letter dimensions, see MG 1-4.01 and Figs. 4-1 and 4-2.

NOTE II—For tolerances on shaft extension diameters and keyseats, see MG 1-4.05.

NOTE III—It is recommended that all machines with keyseats cut in the shaft extension for pulley, coupling, pinion, etc., be furnished with a key unless otherwise specified by the purchaser.

NOTE IV—Frames 42, 48, 48H, 56, 56H—If the shaft extension length of the motor is not suitable for the application, it is recommended that deviations from this length be in 0.25-inch increments.

Suggested Standard for Future Design 1-21-1964, revised 8-19-1964; 11-12-1964; 7-7-1965; 11-11-1965; 7-13-1967, NEMA Standard 7-16-1969, revised 11-13-1969; 11-12-1970; 7-14-1971.

### MG 1-11.32 Shaft Extension and Key Dimensions for Alternating-current Foot-mounted Motors and Generators with Single Tapered or Double Straight/Tapered Shaft Extension ▲

Drive End—Tapered Shaft Extension											
Frame Designation	BA	U	N-W	V	X	Y	Z Max	Shaft Threads	Keyseat		Key Length**
									Width	Depth	
143TR and 145TR	2.25	0.8750	2.62	1.75	1.88	0.75	1.38	3/8-18	0.188	0.094	1.50
182TR and 184TR	2.75	1.1250	3.38	2.25	2.38	0.88	1.50	3/8-16	0.250	0.125	2.00
213TR and 215TR	3.50	1.3750	4.12	2.62	2.75	1.25	2.00	1 -14	0.312	0.156	2.38
254TR and 256TR	4.25	1.625	4.50	2.88	3.00	1.25	2.00	1 -14	0.375	0.188	2.62
284TR and 286TR	4.75	1.875	4.75	3.12	3.25	1.25	2.38	1 1/4-12	0.500	0.250	2.88
324TR and 326TR	5.25	2.125	5.25	3.50	3.62	1.38	2.75	1 1/2-8	0.500	0.250	3.25
364TR and 365TR	5.88	2.375	5.75	3.75	3.88	1.50	3.25	1 3/4-8	0.625	0.312	3.50
404TR and 405TR	6.62	2.875	6.62	4.38	4.50	1.75	3.62	2 -8	0.750	0.375	4.12
444TR and 445TR	7.50	3.375	7.50	5.00	5.12	2.00	4.12	2 1/4-8	0.875	0.438	4.75

Opposite Drive End—Tapered Shaft Extension*										
Frame Number Series	FU	FN-FW	FV	FX	FY	FZ Max	Shaft Threads	Keyseat		Key Length**
								Width	Depth	
140	0.6250	2.00	1.38	1.50	0.50	1.12	3/8-24	0.188	0.094	1.12
180	0.8750	2.62	1.75	1.88	0.75	1.38	3/8-18	0.188	0.094	1.50
210	1.1250	3.38	2.25	2.38	0.88	1.50	3/4-16	0.250	0.125	2.00
250	1.3750	4.12	2.62	2.75	1.25	2.00	1 -14	0.312	0.156	2.38
280	1.6250	4.50	2.88	3.00	1.25	2.00	1 -14	0.375	0.188	2.62
320	1.8750	4.75	3.12	3.25	1.25	2.38	1 1/4-12	0.500	0.250	2.88
360	1.8750	4.75	3.12	3.25	1.25	2.38	1 1/4-12	0.500	0.250	2.88
400	2.1250	5.25	3.50	3.62	1.38	2.75	1 1/2-8	0.500	0.250	3.25
440	2.3750	5.75	3.75	3.88	1.50	3.25	1 3/4-8	0.625	0.312	3.50

Opposite Drive End—Straight Shaft Extension*							
Frame Number Series	FU	FN-FW	FV Min	R	Keyseat		
					ES Min	S	
140	0.6250	1.62	1.38	0.517	0.91	0.188	
180	0.8750	2.25	2.00	0.771	1.41	0.188	
210	1.1250	2.75	2.50	0.986	1.78	0.250	
250	1.3750	3.38	3.12	1.201	2.41	0.312	
280	1.625	4.00	3.75	1.416	2.91	0.375	
280 Short Shaft	1.625	3.25	3.00	1.416	1.91	0.375	
320	1.875	4.62	4.38	1.591	3.28	0.500	
320 Short Shaft	1.875	3.75	3.50	1.591	2.03	0.500	
360	1.875	4.62	4.38	1.591	3.28	0.500	
360 Short Shaft	1.875	3.75	3.50	1.591	2.03	0.500	
400	2.125	5.25	5.00	1.845	3.91	0.500	
400 Short Shaft	2.125	4.25	4.00	1.845	2.78	0.500	
440	2.375	5.88	5.62	2.021	4.28	0.625	
440 Short Shaft	2.375	4.75	4.50	2.021	3.03	0.625	

All dimensions in inches.

\* For drive applications other than direct connect, the motor manufacturer should be consulted.

\*\* Tolerance on the length of the key is ±0.03 inch.

NOTE I—For the meaning of the letter dimensions, see MG 1-4.01 and Figs. 4-1 and 4-2.

NOTE II—For tolerances on shaft extension diameters and keyseats, see MG 1-4.05.

NOTE III—It is recommended that all machines with keyseats cut in the shaft extension for pulley, coupling, pinion, etc., be furnished with a key unless otherwise specified by the purchaser.

NOTE IV—Tapered shafts—the standard taper of shafts shall be at the rate of 1.25 inch in diameter per foot of length. The thread at the end of the tapered shaft shall be provided with a nut and a suitable locking device.

Suggested Standard for Future Design 7-7-1965; reaffirmed 11-21-1968, NEMA Standard 7-16-1969, revised 7-14-1971; 1-28-1976; 3-14-1979.

▲ Revised.

**MG 1-11.33 Dimensions for 500, 580 and 680 Frame Series for Alternating-current Foot-mounted Motors and Generators**

Frame Number Series	D*	E	2F (For Third Digit in Frame Number)†										BA
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
500	12.50	10.00	10.00	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00	8.50
580	14.50	11.50	11.00	12.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	10.00
680	17.00	13.50	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	40.00	11.50

All dimensions in inches.

\* Dimension D will never be greater than the above values, but it may be less so that shims are usually required for coupled or geared machines. When the exact dimension is required, shims up to 0.06 inch may be necessary.

than those shown for the "9" frames are required. In such cases (see Table 11-1), the recommended values of 2F, are, in succession, the "20" series preferred numbers rounded to the next largest inch or one-half inch. For example, for frame 3811, 2F equals 40 inches.

NOTE II—For suggested shaft extension dimensions, see MG 1-11.34. (This note is approved as Authorized Engineering Information.)

NOTE III—The tolerance for the 2E and 2F dimensions shall be ±0.03 inch.

† In place of a last digit in the frame number, the successive integers following 9 will be used when 2F dimensions greater

NOTE 1—For the meaning of the letter dimensions, see MG 1-4.01 and Figs 4-1 and 4-2.

Suggested Standard for Future Design 11-5-1930, revised 8-24-1949; 8-7-1952, reaffirmed 1-18-1956; 5-24-1960, NEMA Standard 1-21-1964, revised 8-19-1964; 11-12-1970.

**MG 1-11.34 Shaft Extension Diameters and Key Dimensions for Alternating-current Motors Built in Frames Larger Than the 445T Frames**

The shaft extension diameters and key dimensions for alternating-current motors having ratings built in frames larger than the 445T frame up to and including the ratings built in frames corresponding to the continuous open-type rating given in the title page of this Part shall be as shown in Table 4-1 of MG 1-4.05.

Suggested Standard for Future Design 11-9-1961, reaffirmed 8-19-1964; 7-13-1967, NEMA Standard 11-12-1970.

Part 12

TESTS AND PERFORMANCE  
AC FRACTIONAL- AND INTEGRAL-HORSEPOWER  
MOTORS

MG 1-12.30 Test Methods

Tests to determine performance characteristics shall be made in accordance with the following:

1. For single-phase motors—IEEE Std 114, *Test Procedure for Single-phase Induction Motors*.
2. For polyphase induction motors—IEEE Std 112, *Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*.

NEMA Standard 7-7-1965.

MG 1-12.30.a Performance Characteristics

When performance characteristics are provided, they should be expressed as follows:

1. Current in amperes or percent of rated current.
2. Torque in pound-feet, pound-inches, ounce-feet, ounce-inches or percent of full-load torque.
3. Output in horsepower or percent of rated horsepower.
4. Speed in revolutions per minute or percent of synchronous speed.
5. Efficiency in percent.
6. Power factor in percent.
7. Voltage in volts or percent of rated voltage.
8. Input power in watts or kilowatts.

NOTE—If SI units are used, they should be in accordance with ISO Publication No. R-1000.

Authorized Engineering Information 5-12-1975.

MG 1-12.31 Torque Characteristics of Single-phase General-purpose Induction Motors

A. BREAKDOWN TORQUE

The breakdown torque of general-purpose single-phase fractional- and integral-horsepower induction motors shall be the higher figure in each torque range as given in the table in MG 1-10.33, subject to tolerances in manufacturing and all other conditions given in MG 1-10.33.

▲ Revised.

B. LOCKED-ROTOR TORQUE OF FRACTIONAL-HORSEPOWER MOTORS

The locked-rotor torque of single-phase general-purpose fractional-horsepower motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following:

Hp	Minimum Locked-rotor Torque, Ounce-feet					
	60-hertz Speed, Rpm			50-hertz Speed, Rpm		
	3600 3450	1800 1725	1200 1140	3000 2850	1500 1425	1000 950
1/8	..	24	32	..	29	39
1/6	15	33	43	18	39	51
1/4	21	46	59	25	55	70
1/3	26	57	73	31	69	88
1/2	37	85	100	44	102	120
3/4	50	119	...	60	143	...
1	61	...	...	73	...	...

C. LOCKED-ROTOR TORQUE OF INTEGRAL-HORSEPOWER MOTORS ▲

The locked-rotor torque of single-phase general-purpose integral-horsepower motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following:

Hp	Minimum Locked-rotor Torque, Pound-feet		
	3600	Rpm 1800	1200
3/4	...	...	8.0
1	...	9.0	9.5
1 1/2	4.5	12.5	13.0
2	5.5	16.0	16.0
3	7.5	22.0	23.0
5	11.0	33.0	...
7 1/2	16.0	45.0	...
10	21.0	52.0	...

D. PULL-UP TORQUE OF INTEGRAL-HORSEPOWER MOTORS

The pull-up torque of single-phase general-purpose alternating-current integral-horsepower motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the rated load torque.

NEMA Standard 11-11-1948, revised 6-24-1949; 5-17-1953; 11-11-1965; 11-16-1967; 9-20-1978.

**MG 1-12.32 Locked-rotor Current of Single-phase Fractional-horsepower Motors**

A. The locked-rotor current of 60-hertz, single-phase motors shall not exceed the values given in the following table:

2-, 4-, 6- AND 8-POLE, 60-HERTZ MOTORS, SINGLE PHASE				
Hp	Locked-rotor Current, Amperes			
	115 Volts		230 Volts	
	Design O	Design N	Design O	Design N
1/8 and smaller	50	20	25	12
1/4	50	26	25	15
3/8	50	31	25	18
1/2	50	45	25	25
3/4	..	61	..	35
1	..	80	..	45

B. The locked-rotor currents of single-phase general-purpose fractional-horsepower motors shall not exceed the values for Design N motors.

NEMA Standard 10-29-1943, revised 11-14-1957; 5-21-1962; 11-12-1964; 11-21-1968.

**MG 1-12.33 Locked-rotor Current of Single-phase Integral-horsepower Motors, Designs L and M ▲**

The locked-rotor current of single-phase, 60-hertz, Design L and M motors of all types, when measured with rated voltage and frequency impressed and with the rotor locked, shall not exceed the following values:

Hp	Locked-rotor Current, Amperes		
	Design L Motors		Design M Motors
	115 Volts	230 Volts	230 Volts
1/2	45	25	..
3/4	61	35	..
1	80	45	..
1 1/2	..	50	40
2	..	65	50
3	..	90	70
5	..	135	100
7 1/2	..	200	150
10	..	260	200

NEMA Standard 8-7-1947; revised 1-23-1951; 11-21-1968; 9-20-1978.

**MG 1-12.34 Locked-rotor Current of 3-phase 60-hertz Integral-horsepower Squirrel-cage Induction Motors Rated at 230 Volts**

The locked-rotor current of single-speed, 3-phase, constant-speed induction motors rated at 230 volts, when measured with rated voltage and frequency impressed and with rotor locked, shall not exceed the following values:

▲ Revised.

Hp	Locked-rotor Current, Amperes*	Design Letters
1/2	20	B, D
3/4	25	B, D
1	30	B, D
1 1/2	40	B, D
2	50	B, D
3	64	B, C, D
5	92	B, C, D
7 1/2	127	B, C, D
10	162	B, C, D
15	232	B, C, D
20	290	B, C, D
25	365	B, C, D
30	435	B, C, D
40	580	B, C, D
50	725	B, C, D
60	870	B, C, D
75	1085	B, C, D
100	1450	B, C, D
125	1815	B, C, D
150	2170	B, C, D
200	2900	B, C
250	3650	B
300	4400	B
350	5100	B
400	5800	B
450	6500	B
500	7250	B

\* The locked-rotor current of motors designed for voltages other than 230 volts shall be inversely proportional to the voltages.

Suggested Standard for Future Design 7-7-1965, revised 8-20-1966; 11-17-1966, NEMA Standard 11-21-1968.

**MG 1-12.35 Locked-rotor Current of 3-phase 50-hertz Integral-horsepower Squirrel-cage Induction Motors Rated at 380 Volts**

The locked-rotor current of single-speed, 3-phase, constant-speed induction motors rated at 380 volts, when measured with rated voltage and frequency impressed and with rotor locked, shall not exceed the values shown in Table 12-1.

NEMA Standard 11-21-1968, revised 7-16-1969.

**MG 1-12.36 Torque Characteristics of Polyphase Fractional-horsepower Motors**

The breakdown torque of a general-purpose polyphase squirrel-cage fractional-horsepower motor, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than 140 percent of the breakdown torque of a single-phase general-purpose fractional-horsepower motor of the same horsepower and speed rating given in MG 1-12.31.

NOTE—The speed at breakdown torque is ordinarily much lower in fractional-horsepower polyphase motors than in fractional-horsepower single-phase motors. Higher breakdown torques are required for polyphase motors so that polyphase and single-phase motors will have interchangeable running characteristics, rating for rating, when applied to normal single-phase motor loads.

NEMA Standard 6-4-1948, revised 6-24-1949; 11-13-1969.



TABLE 12-1 (SEE MG 1-12.35)

Hp	Locked-rotor Current, Amperes*	Design Letters	Hp	Locked-rotor Current, Amperes*	Design Letters
1 or less	20	B, D	30	289	B, C, D
1½	27	B, D	40	387	B, C, D
2	34	B, D	50	482	B, C, D
3	43	B, C, D	60	578	B, C, D
5	61	B, C, D	75	722	B, C, D
7½	84	B, C, D	100	965	B, C, D
10	107	B, C, D	125	1207	B, C, D
15	154	B, C, D	150	1441	B, C, D
20	194	B, C, D	200	1927	B, C
25	243	B, C, D			

\* The locked-rotor current of motors designed for voltages other than 380 volts shall be inversely proportional to the voltages.

**MG 1-12.37 Locked-rotor Torque of Single-speed Polyphase Squirrel-cage Integral-horse-power Motors with Continuous Ratings ▲**

A. The locked-rotor torque of Design A and B, 60- and 50-hertz, single-speed, polyphase squirrel-cage motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following values which are expressed in percent of full-load torque. For applications involving higher torque requirements, see the locked-rotor torque values for Design C and D motors.

Hp	Synchronous Speed, Rpm							
	60 hertz	3600	1800	1200	900	720	600	514
	50 hertz	3000	1500	1000	750	...	...	...
½	...	...	...	140	140	115	110	110
¾	...	...	175	135	135	115	110	110
1	...	275	170	135	135	115	110	110
1½	175	250	165	130	130	115	110	110
2	170	235	160	130	125	115	110	110
3	160	215	155	130	125	115	110	110
5	150	185	150	130	125	115	110	110
7½	140	175	150	125	120	115	110	110
10	135	165	150	125	120	115	110	110
15	130	160	140	125	120	115	110	110
20	130	150	135	125	120	115	110	110
25	130	150	135	125	120	115	110	110
30	130	150	135	125	120	115	110	110
40	125	140	135	125	120	115	110	110
50	120	140	135	125	120	115	110	110
60	120	140	135	125	120	115	110	110
75	105	140	135	125	120	115	110	110
100	105	125	125	125	120	115	110	110
125	100	110	125	120	115	115	110	110
150	100	110	120	120	115	115	...	...
200	100	100	120	120	115	...	...	...
250	70	80	100	100	...	...	...	...
300	70	80	100	...	...	...	...	...
350	70	80	100	...	...	...	...	...
400	70	80	...	...	...	...	...	...
450	70	80	...	...	...	...	...	...
500	70	80	...	...	...	...	...	...

▲ Revised.

(Continued)

B. The locked-rotor torque of Design C, 60- and 50-hertz, single-speed, polyphase squirrel-cage motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following values which are expressed in percent of full-load torque.

Hp	Synchronous Speed, Rpm			
	60 hertz	1800	1200	900
	50 hertz	1500	1000	750
3	...	...	250	225
5	...	...	250	225
7.5	...	...	225	200
10	...	...	225	200
15	...	...	200	200
20-200, inclusive	...	...	200	200

C. The locked-rotor torque of Design D, 60- and 50-hertz, 4-, 6- and 8-pole, single-speed, polyphase squirrel-cage motors rated 150 horsepower and smaller, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than 275 percent, expressed in percent of full-load torque.

NEMA Standard 8-7-1947, revised 6-24-1949; 11-17-1955; 11-17-1966; 7-16-1969; 9-20-1978.

**MG 1-12.38 Breakdown Torque of Single-speed Polyphase Squirrel-cage Integral-horsepower Motors with Continuous Ratings ▲**

A. The breakdown torque of Design A and B, 60- and 50-hertz, single-speed, polyphase squirrel-cage motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following values which are expressed in percent of full-load torque.

Hp	Synchronous Speed, Rpm							
	60 hertz	3600	1800	1200	900	720	600	514
	50 hertz	3000	1500	1000	750	...	...	...
1/2	...	...	...	...	225	200	200	200
3/4	...	...	...	275	220	200	200	200
1	...	...	300	265	215	200	200	200
1 1/2	...	250	280	250	210	200	200	200
2	...	240	270	240	210	200	200	200
3	...	230	250	230	205	200	200	200
5	...	215	225	215	205	200	200	200
7 1/2	...	200	215	205	200	200	200	200
10-125, inclusive	...	200	200	200	200	200	200	200
150	...	200	200	200	200	200	200	...
200	...	200	200	200	200	200	...	...
250	...	175	175	175	175	...	...	...
300-350	...	175	175	175	...	...	...	...
400-500, inclusive	...	175	175	...	...	...	...	...

B. The breakdown torque of Design C, 60- and 50-hertz, single-speed, polyphase squirrel-cage motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following values which are expressed in percent of full-load torque.

Hp	Synchronous Speed, Rpm			
	60 hertz	1800	1200	900
	50 hertz	1500	1000	750
3	...	...	225	200
5	...	...	200	200
7 1/2-200, inclusive	...	...	190	190

NEMA Standard 1-26-1948, revised 6-24-1949; 11-17-1955; 11-17-1966; 7-16-1969; 9-20-1978.

▲ Revised.

**MG 1-12.39 Pull-up Torque of Single-speed Polyphase Squirrel-cage Integral-horsepower Motors with Continuous Ratings, Designs A, B and C**

The pull-up torque of Design A and B, single-speed, polyphase squirrel-cage motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following:

Column 1 Locked-rotor Torque from MG 1-12.37	Column 2 Pull-up Torque, Percent
110 percent or less	90 percent of Column 1
greater than 110 percent but less than 145 percent	100 percent of full-load torque
145 percent or more	70 percent of Column 1

The pull-up torque of Design C motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than 70 percent of the locked-rotor torque from par. B of MG 1-12.37.

NEMA Standard 8-7-1947, revised 11-13-1958; 11-17-1966; 1-25-1972.

**MG 1-12.40 Breakdown Torque of Polyphase Wound-rotor Integral-horsepower Motors with Continuous Ratings ▲**

The breakdown torques of 60- and 50-hertz, polyphase wound-rotor motors, with rated voltage and frequency applied, shall be not less than the following values which are expressed in percent of full-load torque.

Hp	Breakdown Torque, Percent of Full-load Torque		
	1800	Speed, Rpm 1200	900
1	...	...	250
1½	...	...	250
2	275	275	250
3	275	275	250
5	275	275	250
7½	275	250	225
10	275	250	225
15	250	225	225
20-200, incl.	225	225	225

NEMA Standard 6-24-1949, revised 9-20-1978.

▲ Revised:

**MG 1-12.41 Temperature Rise for Fractional-horsepower and Universal Motors ▲**

**A. ALTERNATING CURRENT FRACTIONAL HORSEPOWER MOTORS MOTOR NAMEPLATES MARKED WITH INSULATION SYSTEM DESIGNATION AND AMBIENT TEMPERATURE**

The temperature rise, above the temperature of the cooling medium, for each of the various parts of the motor shall not exceed the values given in the following table when tested in accordance with the rating, except that for motors having a service factor greater than 1.0, the temperature rise shall not exceed the values given in the following table when tested at the service factor load.

CLASS OF INSULATION SYSTEM (SEE MG 1-1.65).....	A	B	F	H
TIME RATING (may be continuous or any short-time rating given in MG 1-10.35)				
TEMPERATURE RISE (based on a maximum ambient temperature of 40°C), Degrees C				
1. WINDINGS				
a. Open motors other than those given in par. 1.b and 1.d—resistance or thermocouple .....	60	80	105	125
b. Open motors with 1.15 or higher service factor—resistance or thermocouple .....	70	90	115	...
c. Totally-enclosed nonventilated and fan-cooled motors, including variations thereof—resistance or thermocouple .....	65	85	110	135
d. Any motor in a frame smaller than the 42 frame—resistance or thermocouple .....	65	85	110	135
2. THE TEMPERATURES ATTAINED BY SQUIRREL-CAGE WINDINGS, CORES AND MECHANICAL PARTS (SUCH AS BRUSHHOLDERS, POLE TIPS, UNINSULATED SHADING COILS, COMMUTATORS, COLLECTOR RINGS, ETC.) SHALL NOT INJURE THE MACHINE IN ANY RESPECT.				

See notes at end of MG 1-12.41.C.

**C. UNIVERSAL MOTORS ††**

The temperature rise, above the temperature of the cooling medium, for each of the various parts of the motor, when tested in accordance with the rating, shall not exceed the values given in the following table:

CLASS OF INSULATION SYSTEM (SEE MG 1-1.65).....	A	B	F	H
LOAD, PERCENT OF RATED CAPACITY.....	100	100	100	100
TIME RATING .....	**	**	**	**
**Time rating may be continuous or any short-time rating given in MG 1-10.35.				
TEMPERATURE RISE (METHOD OF TEMPERATURE DETERMINATION EMPLOYED AS INDICATED), DEGREES C.				
1. WINDINGS				
a. Open motors—thermocouple or resistance.....	60	80	105	125
b. Totally-enclosed nonventilated and fan-cooled motors, including variations thereof—thermocouple or resistance.....	65	85	110	135
2. COMMUTATORS (ANY MOTOR ENCLOSURE)—THERMOCOUPLE.....	65	85	110	135
3. MISCELLANEOUS PARTS (SUCH AS BRUSHHOLDERS, BRUSHES, POLE TIPS, ETC.) OTHER THAN THOSE WHOSE TEMPERATURES AFFECT THE TEMPERATURE OF THE INSULATING MATERIAL MAY ATTAIN SUCH TEMPERATURES AS WILL NOT BE INJURIOUS IN ANY OTHER RESPECT.				

(See following page for notes.)

Temperatures for MG 1-12.41.A and MG 1-12.41.C shall be determined in accordance with the latest revision of the following:

1. For single-phase motors—IEEE Std 114, *Test Procedure for Single-phase Induction Motors*.
2. For polyphase induction motors—IEEE Std 112, *Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*.

Where a Class F or H insulation system is used, special consideration needs to be given to bearing temperatures, lubrication, etc.

NOTE I—Abnormal deterioration of insulation may be expected if the ambient temperature of 40°C is exceeded in regular operation. See Note II.\*

NOTE II—The temperature rises given in MG 1-12.41.A and item 1.a of MG 1-12.41.C are based upon a reference ambient temperature of 40°C. Motors intended for use in any other ambient temperature should have temperature rises not exceeding the value calculated from the appropriate formula below, rounded off to the nearest 5 degrees:\*

For motors given in items 1.a and 1.b of MG 1-12.41.A and item 1.a of MG 1-12.41.C—Temperature rise =  $0.9 (Ths - Ta)$

For motors given in items 1.c and 1.d of MG 1-12.41.A and items 1.b and 2 of MG 1-12.41.C —Temperature rise =  $0.965 (Ths - Ta)$

where

Ta = ambient temperature

Ths = hot spot temperature = for items 1.a, 1.c and 1.d of MG 1-12.41.A and all parts of MG 1-12.41.C =

105°C for Class A insulation system

130°C for Class B insulation system

155°C for Class F insulation system

180°C for Class H insulation system

for item 1.b of MG 1-12.41.A and all parts of MG 1-12.41.C =

115°C for Class A insulation system

140°C for Class B insulation system

165°C for Class F insulation system

When a higher ambient temperature than 40°C is required, preferred values of ambient temperature are 50°C, 65°C, 90°C and 115°C.

NOTE III—The foregoing values of temperature rise are based upon operation at altitudes of 3300 feet (1000 meters) or less. For temperature rises for motors intended for operation at altitudes above 3300 feet (1000 meters), see MG 1-14.04.\*

\* Approved as Authorized Engineering Information.

†† Par. B rescinded 9-23-1975.

NEMA Standard 6-24-1949, revised 11-17-1949; 6-22-1950; 1-23-1951; 6-28-1951; 11-13-1951; 11-14-1957; 11-12-1959; 5-24-1960; 11-17-1960; 5-21-1962; 11-15-1962; 11-12-1964; 7-14-1971; 9-25-1975; 1-10-1978.

**MG 1-12.42 Temperature Rise for Integral-horsepower Single-phase and Polyphase Induction Motors**

The temperature rise, above the temperature of the cooling medium, for each of the various parts of the motor shall not exceed the values given in the following table when tested in accordance with the rating, except that for motors having a service factor 1.15 or higher, the temperature rise shall not exceed the values given in the following table when tested at the service factor load.

CLASS OF INSULATION SYSTEM (SEE MG 1-1.65).....	A	B	F*	H*†
TIME RATING (may be continuous or any short-time rating given in MG 1-10.35)				
TEMPERATURE RISE (based on a maximum ambient temperature of 40°C), Degrees C				
<b>1. WINDINGS</b>				
a. Motors other than those given in par. 1.b, 1.c, 1.d and 1.e—resistance.....	60	80	105	125
b. All motors with 1:15 or higher service factor—resistance.....	70	90	115	...
c. Totally-enclosed fan-cooled motors, including variations thereof—resistance.....	60	80	105	125
d. Totally-enclosed nonventilated motors, including variations thereof—resistance.....	65	85	110	135
e. Motors with encapsulated windings and with 1.0 service factor, all enclosures—resistance.....	65	85	110	...
<b>2. THE TEMPERATURES ATTAINED BY SQUIRREL-CAGE WINDINGS, CORES AND MECHANICAL PARTS (SUCH AS BRUSHOLDERS, POLE TIPS, UNINSULATED SHADING COILS, COMMUTATORS, COLLECTOR RINGS, ETC.) SHALL NOT INJURE THE MACHINE IN ANY RESPECT.</b>				

Temperatures shall be determined in accordance with the latest revision of the following:

1. For single-phase motors—IEEE Std 114, *Test Procedure for Single-phase Induction Motors*.
2. For polyphase induction motors—IEEE Std 112, *Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*.

\* Where a Class F or H insulation system is used, special consideration needs to be given to bearing temperatures, lubrication, etc.  
† This column applies to polyphase induction motors only.

Suggested Standard for Future Design 5-24-1960, revised 7-12-1961; 5-21-1962; 1-21-1964; 11-12-1964, reaffirmed 7-13-1967, NEMA Standard 7-14-1971.

NOTE I—Abnormal deterioration of insulation may be expected if the ambient temperature of 40°C is exceeded in regular operation. See Note II.  
NOTE II—The temperature rises given in the above table are based upon a reference ambient temperature of 40°C. Motors intended for use in any other ambient temperature should have temperature rises not exceeding the value calculated from the appropriate formula below, rounded off to the nearest 5 degrees:  
For motors given in items 1.a, 1.b and 1.c:

$$\text{Temperature rise} = 0.9(T_{hs} - T_a)$$

For motors given in items 1.d and 1.e:

$$\text{Temperature rise} = 0.965(T_{hs} - T_a)$$

where

T<sub>a</sub> = ambient temperature

T<sub>hs</sub> = hot spot temperature = for all items except 1.b

- 105°C for Class A insulation system
- 130°C for Class B insulation system
- 155°C for Class F insulation system
- 180°C for Class H insulation system
- for item 1.b
  - 115°C for Class A insulation system
  - 140°C for Class B insulation system
  - 165°C for Class F insulation system

When a higher ambient temperature than 40°C is required, preferred values of ambient temperature are 50°C, 65°C, 90°C and 115°C.

NOTE III—The foregoing values of temperature rise are based upon operation at altitudes of 3300 feet (1000 meters) or less. For temperature rises for motors intended for operation at altitudes above 3300 feet (1000 meters), see MG 1-14.04.

Authorized Engineering Information 7-12-1961, revised 5-21-1962; 1-21-1964; 8-19-1964; 11-12-1964; 7-14-1971.

**MG 1-12.43: Variations from Rated Voltage and Rated Frequency ▲****A. RUNNING**

Alternating-current motors shall operate successfully under running conditions at rated load with a variation in the voltage or the frequency up to the following:

1. Plus or minus 10 percent of rated voltage, with rated frequency for induction motors.
2. Plus or minus 6 percent of rated voltage, with rated frequency for universal motors.
3. Plus or minus 5 percent of rated frequency, with rated voltage.
4. A combined variation in voltage and frequency of plus or minus 10 percent (sum of absolute values) of the rated values, provided the frequency variation does not exceed plus or minus 5 percent of rated frequency, and the voltage variation of universal motors (except fan motors) does not exceed plus or minus 6 percent of rated voltage.

Performance within these voltage and frequency variations will not necessarily be in accordance with the standards established for operation at rated voltage and frequency.

**B. STARTING**

Integral horsepower motors shall start and accelerate to running speed a load which has a torque characteristic and an inertia value not exceeding that listed in MG 1-12.50 with the voltage and frequency variations specified in par. A.

NEMA Standard 7-24-1949, revised 11-17-1968; 7-12-1978; 5-15-1979.

The limiting values of voltage and frequency under which a motor will successfully start and accelerate to running speed depend on the margin between the speed-torque curve of the motor at rated voltage and frequency and the speed-torque curve of the load under starting conditions. Since the torque developed by the motor at any speed is approximately proportional to the square of the voltage and inversely proportional to the square of the frequency, it is generally desirable to determine what voltage and frequency variations will actually occur at each installation, taking into account any voltage drop resulting from the starting current drawn by the motor. This information and the torque requirements of the driven machine define the motor-speed-torque curve, at rated voltage and frequency, which is adequate for the application.

Authorized Engineering Information 7-12-1978.

▲ Revised.

**MG 1-12.44 Variation from Rated Frequency**

See MG 1-12.43.

**MG 1-12.45 Combined Variation of Voltage and Frequency**

See MG 1-12.43

**MG 1-12.45.a Voltage Unbalance**

Alternating-current polyphase motors shall operate successfully under running conditions at rated load when the voltage unbalance at the motor terminals does not exceed 1 percent. Performance will not necessarily be the same as when the motor is operating with a balanced voltage at the motor terminals. (See MG 1-14.34.)

NEMA Standard 11-8-1973.

**MG 1-12.46 Variation from Rated Speed**

The variation from the nameplate or published data speed of alternating-current, single-phase and polyphase, integral-horsepower motors shall not exceed 20 percent of the difference between synchronous speed and rated speed when measured at rated voltage, frequency and load and with an ambient temperature of 25 °C.

NEMA Standard 6-24-1949, revised 6-22-1950; 1-23-1951; 11-12-1959.

**MG 1-12.46.a Operation of Alternating-current Motors from Variable-frequency and/or Variable-voltage Power Supplies**

Alternating-current motors to be operated from solid-state or other types of variable-frequency and/or variable-voltage power supplies for adjustable-speed-drive applications may require individual consideration to provide satisfactory performance. Especially for operation below rated speed, it may be necessary to reduce the motor torque load below the rated full-load torque to avoid overheating the motors. The motor manufacturer should be consulted before selecting a motor for such applications.

Authorized Engineering Information 7-12-1978.

**MG 1-12.47 Service Factor of Alternating-current Motors**

**A. GENERAL-PURPOSE ALTERNATING-CURRENT MOTORS**

When operated at rated voltage and frequency, general-purpose alternating-current motors having a rated temperature rise in accordance with MG 1-12.41 for fractional-horsepower motors or MG 1-12.42 for integral-horsepower motors shall have a service factor in accordance with the following (see MG 1-14.35):

Hp	Service Factor							
	3600	1800	Synchronous Speed, Rpm			600	514	
			1200	900	720			
1/20	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...	Fractional-horsepower Motors
1/12	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...	
1/8	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...	
1/6	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...	
1/4	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...	
1/3	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...	
1/2	1.25	1.25	1.25	1.15*	...	...	...	Integral-horsepower Motors
3/4	1.25	1.25	1.15*	1.15*	...	...	...	
1	1.25	1.15*	1.15*	1.15*	...	...	...	
1 1/2-125	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	
150	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...	
200	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...	...	

\*In the case of polyphase squirrel-cage integral-horsepower motors, these service factors apply only to Design A, B and C motors.

**B. OTHER OPEN-TYPE MOTORS**

When operated at rated voltage and frequency, other open-type alternating-current motors having horsepower ratings from 250 to 500, inclusive, and a rated temperature rise in accordance with MG 1-12.42 shall have a service factor of 1.0.

Suggested Standard for Future Design 11-12-1964; revised 8-20-1966, NEMA Standard 11-12-1970.

In those applications requiring an overload capacity, the use of a higher horsepower rating, as given in par. D of MG 1-10.32, is recommended to avoid exceeding the temperature rises for the class of insulation system used and to provide adequate torque capacity.

Authorized Engineering Information 8-20-1966.



**MG 1-12.48 Overspeeds for Motors**

**A. SQUIRREL-CAGE AND WOUND-ROTOR MOTORS**

Squirrel-cage and wound-rotor induction motors, except crane motors, shall be so constructed that, in an emergency of short duration, they will withstand without mechanical injury overspeeds above synchronous speed in accordance with the following:

Hp	Synchronous Speed, Rpm	Overspeed, Percent of Synchronous Speed
200 and smaller	1801 and over	25
	1201 to 1800	25
	1200 and below	50
250-500, incl.	1801 and over	20
	1800 and below	25

**B. ALTERNATING-CURRENT SERIES AND UNIVERSAL MOTORS**

Alternating-current series and universal motors shall be capable of withstanding, in an emergency of short duration, a speed which is 10 percent above the no-load speed at rated voltage.

**NOTE**—For motors which are integrally attached to loads that can not become accidentally disconnected, the words "no-load speed" shall be interpreted to mean the lightest load condition possible with the load.

NEMA Standard 11-1-1946; revised 11-13-1952; 11-17-1955; 8-20-1966; 11-13-1969.

**MG 1-12.49 Machine Noise (Integral-horsepower Induction Motors)**

**A. SOUND QUALITY**

Sound quality is determined by the distribution of effective sound intensities as a function of frequency. It plays a significant role in determining how acceptable the sound is to the human ear.

Although the overall A-weighted sound does not completely define sound acceptability because machines with the same overall decibel sound level may have a different sound quality, it does provide a quantitative measure of loudness and hearing damage potential. It may be necessary, in some cases, to describe the sound profile in more detail. In such cases, the manufacturer should be consulted.

**B. SOUND MEASUREMENT**

Machine sound should be measured in accordance with IEEE Std 85, *Test Procedure for Airborne Sound Measurements on Rotating Electric Machinery*.

Motor sound tests should be taken at no load so that the motor sound can be isolated from other sound sources.

It should be recognized that decibel readings are not exact and are subject to many external influences. For further information see the NEMA Standards Publication for *Sound Level Prediction for Installed Rotating Electrical Machines*, MG 3.

**C. SOUND POWER LEVELS OF POLYPHASE SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTORS**

The no-load sound power levels of Design A, B and C polyphase squirrel-cage induction motors generally do not exceed the values given in the table below when measured in accordance with IEEE Std 85:

Frame Designation	Synchronous Speed, Rpm	Overall Sound Power Level, Decibels, A-Weighted (Reference = 10 <sup>-12</sup> Watts)	
		Drip-proof	Totally-enclosed Fan-cooled
143T, 145T	3600	76	87
182T, 184T	3600	80	91
213T, 215T	3600	82	94
254T, 256T	3600	84	96
284T, 286T	3600	86	98
324T, 326T	3600	89	100
364T, 365T	3600	94	101
404T, 405T	3600	98	102
444T, 445T	3600	101	104
143T, 145T	1800	70	70
182T, 184T	1800	72	74
213T, 215T	1800	76	79
254T, 256T	1800	80	84
284T, 286T	1800	80	88
324T, 326T	1800	84	92
364T, 365T	1800	86	95
404T, 405T	1800	89	98
444T, 445T	1800	93	102
143T, 145T	1200	65	64
182T, 184T	1200	67	67
213T, 215T	1200	72	71
254T, 256T	1200	76	75
284T, 286T	1200	81	80
324T, 326T	1200	83	83
364T, 365T	1200	86	87
404T, 405T	1200	88	91
444T, 445T	1200	91	96
143T, 145T	900	67	67
182T, 184T	900	69	69
213T, 215T	900	70	72
254T, 256T	900	73	76
284T, 286T	900	76	80
324T, 326T	900	79	83
364T, 365T	900	81	86
404T, 405T	900	84	89
444T, 445T	900	87	93

Authorized Engineering Information 6-28-1951, revised 5-21-1962; 11-13-1969; 1-17-1974; 5-17-1976.

TESTS AND PERFORMANCE—AC

**MG 1-12.50 Number of Starts ▲**

A. Squirrel-cage induction motors having horsepower ratings given in par. D of MG 1-10.32 with performance characteristics in accordance with Part 12\* shall be capable of accelerating without injurious heating load  $Wk^2$  referred to the motor shaft, equal to or less than the values listed in the following table under these conditions:

1. Applied voltage and frequency in accordance with MG 1-12.43.
2. During the accelerating period, the connected load torque is equal to or less than a torque which varies as the square of the speed and is equal to 100 percent of rated load torque at rated speed.

3. Two starts in succession (coasting to rest between starts) with the motor initially at the ambient temperature or one start with the motor initially at a temperature not exceeding its rated load operating temperature.

B. If the starting conditions are other than those stated in par. A, the motor manufacturer should be consulted.

C. When additional starts are required, it is recommended that none be made until all conditions affecting operation have been thoroughly investigated and the apparatus examined for evidence of excessive heating. It should be recognized that the number of starts should be kept to a minimum since the life of the motor is affected by the number of starts.

\*Locked-rotor torque in accordance with par. A of MG 1-12.37, breakdown torque in accordance with par. A of MG 1-12.38, Class A or B insulation system with temperature rise in accordance with MG 1-12.42, and service factor in accordance with par. B of MG 1-12.47.

Authorized Engineering Information 8-20-1960; revised 9-7-1977.

Hp	Speed, Rpm						
	3600	1800	1200	900	720	600	514
Load $Wk^2$ (Exclusive of Motor $Wk^2$ ), Lb-Ft <sup>2</sup>							
1		5.8	15	31	53	82	118
1½	1.8	8.6	23	45	77	120	174
2	2.4	11	30	60	102	158	228
3	3.5	17	44	87	149	231	335
5	5.7	27	71	142	242	375	544
7½	8.3	39	104	208	356	551	798
10	11	51	137	273	467	723	1048
15	16	75	200	400	685	1061	1538
20	21	99	262	525	898	1393	2018
25	26	122	324	647	1108	1719	2491
30	31	144	384	769	1316	2042	2959
40	40	189	503	1007	1725	2677	3881
50	49	232	620	1241	2127	3302	4788
60	58	275	735	1473	2524	3819	5680
75	71	338	904	1814	3111	4831	7010
100	92	441	1181	2372	4070	6320	9180
125	113	542	1452	2919	5010	7790	11310
150	133	640	1719	3456	5940	9230	...
200	172	831	2238	4508	7750	...	...
250	210	1017	2744	5540	...	...	...
300	246	1197	3239	...	...	...	...
350	281	1373	3723	...	...	...	...
400	315	1546	...	...	...	...	...
450	349	1714	...	...	...	...	...
500	381	1880	...	...	...	...	...

NEMA Standard 8-20-1966; revised 9-7-1977.

**MG 1-12.51 Routine Tests for Polyphase  
Integral-horsepower Induction  
Motors ▲**

Typical tests which may be made on polyphase integral-horsepower induction motors are listed below. All tests should be made in accordance with IEEE Std 112, *Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*.

1. No-load readings of current and speed at normal voltage and frequency. On 50-hertz motors, these readings may be taken at 60 hertz. On motors furnished without complete shaft and bearings, this test will not be taken.

2. Current input at rated frequency with rotor at standstill for squirrel-cage motors. This may be taken single-phase or polyphase at rated or reduced voltage. (When this test is made single-phase, the polyphase values of a duplicate machine should be given in any report.)

On 50-hertz motors, these readings may be taken at 60 hertz.

On motors furnished without complete shaft and bearings, this test may be taken on stator only, rotor omitted.

3. Measurement of open-circuit voltage ratio on wound-rotor motors.

4. High-potential test in accordance with MG 1-3.01 and MG 1-12.03.

Recommended Standard 6-24-1949, revised 11-17-1949; NEMA Standard 11-12-1953, revised 7-21-1954; 11-12-1959; Authorized Engineering Information 8-19-1964, revised 1-17-1974; 11-16-1978.

**MG 1-12.52 Thermal Protection of  
Integral-horsepower Motors**

The protector in a thermally protected motor shall limit the winding temperature and the ultimate trip current as follows:

**A. WINDING TEMPERATURE**

1. Running Load—When a motor marked "Thermally Protected" is running at the maximum continuous load which it can carry without causing the protector to open the circuit, the temperature of the windings shall not exceed the following:

Insulation System Class	Temperature, Degrees C*
A	140
B	165
F	190
H	215

\* The temperature values are based on an assumed ambient temperature of 25°C.

Tests may be conducted at any ambient temperature within the range of 10°C to 40°C.

The temperature of the windings shall be measured by the resistance method except that, for motors rated 15 horsepower and smaller, the temperature may alternatively be measured by the thermocouple method.

Short-time rated motors and motors for intermittent duty may be run at no load and reduced voltage, if necessary, for a continuous running test to verify that the protector limits the temperatures to those given in the foregoing table.

2. Locked Rotor—When a motor marked "Thermally Protected" is under locked-rotor conditions, the thermal protector shall cycle to limit the winding temperature to the values given in Table 12-2.

The test for motors with automatic-reset thermal protectors shall be run until temperature peaks are constant or for 72 hours, whichever is shorter.

The test for motors with manual-reset thermal protectors shall be 10 cycles, the protector being reclosed as quickly as possible after it opens. If ten cycles are completed in less than 1 hour, only the "during first hour" limits given in Table 12-2 apply.

**B. TRIP CURRENT**

A motor rated more than 1 horsepower and marked "Thermally Protected" shall have an ultimate trip current, based on a 40°C ambient temperature, not in excess of the following percentages of motor full-load currents given in Tables 430-148, 430-149 and 430-150 of the *National Electrical Code*:

Motor Full-load Amperes	Percent of Motor Full-load Current Given in NEC Tables
9.0 and less	170
Over 9.0 but not over 20.0	156
Over 20.0	140

Dual-voltage motors shall comply with the ultimate trip current requirements for both voltages.

For a motor rated at an intermediate value of horsepower between the values given in the aforementioned tables, the full-load current shall be calculated by interpolation from the immediately adjacent data.

NEMA Standard 9-21-1966, revised 7-17-1968; 1-25-1972; 5-14-1973.

**MG 1-12.53 Overtemperature Protection of Integral-horsepower Motors Not Meeting the Definition of "Thermally Protected"**

When motors rated above 1 horsepower are provided with winding overtemperature protection devices or systems not meeting the definition of "Thermally Protected" (see MG 1-12.52), they shall be marked as follows:

**OVER TEMP PROT—**

When motors are so marked, the number 1, 2 or 3 shall be stamped in the blank space following the words "OVER TEMP PROT" to indicate the type of winding overtemperature protection provided. For each type, the winding overtemperature protector shall limit the temperature of the windings as follows:

**A. TYPE 1—WINDING RUNNING AND LOCKED-ROTOR OVERTEMPERATURE PROTECTION**

1. Winding Running Temperature—When the motor is marked "OVER TEMP PROT 1" and is running at the maximum continuous load which it can carry without causing the winding overtemperature protector to operate, the temperature of the windings shall not exceed the following:

TABLE 12-3

Insulation System Class	Maximum Winding Temperature, Degrees C*
A	140
B	165
F	190
H	215

\* The temperature values are based on an assumed ambient temperature of 25°C.

The temperature of the windings shall be measured by the resistance method except that, for motors rated 15 horsepower and smaller, the temperature may alternatively be measured by the thermocouple method.

2. Winding Locked-rotor Temperature—In addition, when the motor is marked "OVER TEMP PROT 1" and is under locked-rotor conditions, the winding overtemperature protector shall limit the temperature of the windings to the values shown in Table 12-2.

**B. TYPE 2—WINDING RUNNING OVERTEMPERATURE PROTECTION**

When the motor is marked "OVER TEMP PROT 2" and is running at the maximum continuous load which it can carry without causing the winding overtemperature protector to operate, the temperature of the windings shall not exceed the temperature shown in Table 12-3.

When the motor is so marked, locked-rotor protection is not provided by the winding overtemperature protector.

**C. TYPE 3—WINDING OVERTEMPERATURE PROTECTION, NONSPECIFIC TYPE**

When the motor is marked "OVER TEMP PROT 3," the motor manufacturer should be consulted for details of protected conditions and/or winding temperatures.

NEMA Standard 5-17-1972, revised 5-14-1973.

TABLE 12-2  
WINDING TEMPERATURE UNDER LOCKED-ROTOR CONDITIONS, DEGREES C

Type of Protector	Maximum Temperature, Degrees C*				Average Temperature,† Degrees C*			
	Insulation System Class				Insulation System Class			
	A	B	F	H	A	B	F	H
Automatic reset								
During first hour	200	225	250	275	...	...	...	...
After first hour	175	200	225	250	150	175	200	225
Manual reset								
During first hour	200	225	250	275	...	...	...	...
After first hour	175	200	225	250	...	...	...	...

The temperature of the windings shall be measured by the resistance method except that, for motors rated 15 horsepower and smaller, the temperature may alternatively be measured by the thermocouple method.

\* The temperature values are based on an assumed ambient temperature of 25°C. Tests may be conducted at any ambient temperature within the range of 10°C to 40°C.

† The average temperature is the average of the average peak and average reset winding temperatures. The average temperature shall be within limits during both the second and last hour of the test.

**MG 1-12.53.a Efficiency**

Efficiency and losses shall be determined in accordance with the latest revision of IEEE Std 112.<sup>†</sup> The efficiency shall be determined at rated output, voltage and frequency.

The following losses shall be included in determining the efficiency:

1. Stator I<sup>2</sup>R.
2. Rotor I<sup>2</sup>R.
3. Core loss.
4. Stray load loss.
5. Friction and windage loss.\*
6. Brush contact loss of wound-rotor machines.

Power required for auxiliary items, such as external pumps or fans, that are necessary for the operation of the motor shall be stated separately.

In determining I<sup>2</sup>R losses, the resistance of each winding shall be corrected to a temperature equal to an ambient temperature of 25 °C plus the observed rated load temperature rise measured by resistance. When the rated load temperature rise has not been measured, the resistance of the winding shall be corrected to the following temperature:

Class of Insulation System	Temperature, Degrees C
A	75
B	95
F	115
H	130

This reference temperature shall be used for determining I<sup>2</sup>R losses at all loads. If the rated temperature rise is specified as that of a lower class of insulation system, the temperature for resistance correction shall be that of the lower insulation class.

\* In the case of motors which are furnished with thrust bearings, only that portion of the thrust bearing loss produced by the motor itself shall be included in the efficiency calculation. Alternatively, a calculated value of efficiency, including bearing loss due to external thrust load, may be specified.

† In the case of motors which are furnished with less than a full set of bearings, friction and windage losses which are representative of the actual installation shall be determined by (1) calculation or (2) experience with shop test bearings and shall be included in the efficiency calculations.

NEMA Standard 5-12-1975.

† For polyphase, squirrel-cage integral-horsepower motors, rated 1 to 125 horsepower, the dynamometer method (Method B) is preferred for the determination of efficiency.

Authorized Engineering Information 3-16-1977.

**MG 1-12.53.b Efficiency of Polyphase Squirrel-cage Integral-horsepower Motors with Continuous Ratings**

The efficiency of Designs A and B, single-speed, polyphase squirrel-cage integral-horsepower motors

in the range of 1 through 125 horsepower for frames assigned in accordance with NEMA Publication for *Frame Assignments for AC Integral-horsepower Induction Motors*, No. MG 13, and equivalent Design C ratings, shall be identified by an index letter† on the nameplate. The full-load efficiency when operating at rated voltage and frequency shall not be less than the minimum value identified for each index letter.

The efficiency index shall be identified on the nameplate by the caption "Efficiency Index" or "Eff. Index."

† As an alternate marking to the index letter, the nominal efficiency associated with the index letter may be marked on the nameplate.

Suggested Standard for Future Design 3-16-1977.

Variations in materials, manufacturing processes, and tests result in motor-to-motor efficiency variations for a given motor design; the full-load efficiency for a large population of motors of a single design is not a unique efficiency but rather a band of efficiency. Therefore, Table 12-4 has been established to indicate the minimum efficiency to be expected from a motor design and, also, to indicate a value of nominal efficiency to be expected from a large population of motors. The nominal efficiency for each index letter represents a value which can be used for computing the energy consumption of a motor or population of motors.

Authorized Engineering Information 3-16-1977.

Table 12-4

Index Letter	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency
A	—	>95.0
B	95.0	94.1
C	94.1	93.0
D	93.0	91.7
E	91.7	90.2
F	90.2	88.5
G	88.5	86.5
H	86.5	84.0
K	84.0	81.5
L	81.5	78.5
M	78.5	75.5
N	75.5	72.0
P	72.0	68.0
R	68.0	64.0
S	64.0	59.5
T	59.5	55.0
U	55.0	50.5
V	50.5	46.0
W	—	<46.0



## Part 14

## APPLICATION DATA

AC FRACTIONAL- AND INTEGRAL-HORSEPOWER  
MOTORS**MG 1-14.30 Effects of Variation of Voltage and Frequency upon the Performance of Induction Motors**

A. Induction motors are at times operated on circuits of voltage or frequency other than those for which the motors are rated. Under such conditions, the performance of the motor will vary from the rating. The following is a brief statement of some operating results caused by small variations of voltage and frequency and is indicative of the general character of changes produced by such variation in operating conditions.

B. With a 10 percent increase or decrease in voltage from that given on the nameplate, the heating at rated horsepower load may increase. Such operation for extended periods of time may accelerate the deterioration of the insulation system.

C. In a motor of normal characteristics at full rated horsepower load, a 10 percent increase of voltage above that given on the nameplate would usually result in a decided lowering in power factor. A 10 percent decrease of voltage below that given on the nameplate would usually give an increase in power factor.

D. The locked-rotor and breakdown torque will be proportional to the square of the voltage applied.

E. An increase of 10 percent in voltage will result in a decrease of slip of about 17 percent, while a reduction of 10 percent will increase the slip about 21 percent. Thus, if the slip at rated voltage were 5 percent, it would be increased to 6.05 percent if the voltage were reduced 10 percent.

F. A frequency higher than the rated frequency usually improves the power factor but decreases locked-rotor torque and increases the speed and friction and windage loss. At a frequency lower than the rated frequency, the speed is decreased, locked-rotor torque is increased, and power factor is decreased. For certain kinds of motor load, such as in textile mills, close frequency regulation is essential.

G. If variations in both voltage and frequency occur simultaneously, the effects will be superimposed. Thus, if the voltage is high and the frequency low, the locked-rotor torque will be very greatly increased, but the power factor will be decreased and the temperature rise increased with normal load.

H. The foregoing facts apply particularly to general-purpose motors. They may not always be true in connection with special-purpose motors, built for a particular purpose, or as applied to very small motors.

Authorized Engineering Information 1-31-1925, revised 11-21-1968.

**MG 1-14.31 Effects of Voltages over 600 Volts on the Performance of Low-voltage Motors**

Polyphase motors are regularly built for voltage ratings of 575 volts or less (see MG 1-10.30) and are expected to operate satisfactorily with a voltage variation of plus or minus 10 percent. This means that motors of this insulation level may be successfully applied up to an operating voltage of 635 volts.

Based on motor manufacturers' high-potential tests and performance in the field, it has been found that where service voltages exceed 635 volts, the safety factor of the insulation has been reduced to a level inconsistent with good engineering procedure.

In view of the foregoing, motors of this insulation level should not be applied to power systems either with or without grounded neutral where the voltage exceeds 635 volts, regardless of the motor connection employed.

NOTE—Some definite-purpose three-phase motors are intended for operation on a grounded 830-volt system. Such motors are suitable for 480-volt operation when delta connected and for 798-volt operation when wye connected with the neutral of the system solidly grounded.

Authorized Engineering Information 11-11-1948, revised 11-17-1966; 5-14-1973.

**MG 1-14.32 Operation of General-purpose Alternating-current Polyphase, 2-, 4-, 6- and 8-pole, 60-hertz Integral-horsepower Induction Motors Operated on 50 hertz**

While general-purpose alternating-current polyphase, 2-, 4-, 6- and 8-pole, 60-hertz integral-horsepower induction motors are not designed to operate at their 60-hertz ratings on 50-hertz circuits, they are capable of being operated satisfactorily on 50-hertz circuits if their voltage and horsepower ratings are appropriately reduced. When such 60-hertz motors are operated on 50-hertz circuits, the applied voltage at 50 hertz should be reduced to  $\frac{5}{6}$  of the 60-hertz voltage rating of the motor and the horsepower load at 50

hertz should be reduced to  $\frac{5}{8}$  of the 60-hertz horsepower rating of the motor.

When a 60-hertz motor is operated on 50 hertz at  $\frac{5}{8}$  of the 60-hertz voltage and horsepower ratings, the other performance characteristics for 50-hertz operation are as follows:

**A. SPEED**

The synchronous speed will be  $\frac{5}{6}$  of the 60-hertz synchronous speed, and the slip will be  $\frac{5}{6}$  of the 60-hertz slip.

**B. TORQUES**

The rated load torque in pound-feet will be approximately the same as the 60-hertz rated load torque in pound-feet.

The locked-rotor and breakdown torques in pound-feet of 50-hertz motors will be approximately the same as the 60-hertz locked-rotor and breakdown torques in pound-feet.

**C. LOCKED-ROTOR CURRENT**

The locked-rotor current (amperes) will be approximately 5 percent less than the 60-hertz locked-rotor current (amperes). The Code letter appearing on the motor nameplate to indicate locked-rotor kVA per horsepower applies only to the 60-hertz rating of the motor.

**D. SERVICE FACTOR**

The service factor will be 1.0.

**E. TEMPERATURE RISE**

The temperature rise will not exceed 90°C. (See MG 1-14.30.)

Authorized Engineering Information 11-16-1967.

**MG 1-14.33 Operation of 230-volt Induction Motors on 208-volt Systems**

Induction motors intended for operation on 208-volt systems should be rated 208 or 200 volts.

Operation of a motor rated 230 volts on a 208-volt system is not recommended because utilization voltages are commonly encountered below the minus 10 percent tolerance on the voltage rating for which the motor is designed. Such operation will generally result in excessive overheating and serious reduction in torques.

Authorized Engineering Information 8-20-1966; revised 11-21-1968.

**MG 1-14.34 Effects of Unbalanced Voltages on the Performance of Polyphase Induction Motors ▲**

When the line voltages applied to a polyphase induction motor are not equal, unbalanced currents in the stator windings will result. A small percentage voltage unbalance will result in a much larger percentage current unbalance. Consequently, the temperature rise of the motor operating at a particular load and percentage voltage unbalance will be greater than for the motor operating under the same conditions with balanced voltages.

▲ Revised.

Voltages preferably should be evenly balanced as closely as can be read on available commercial voltmeters. Should voltages be unbalanced, the rated horsepower of the motor should be multiplied by the factor shown in Fig. 14-1 to reduce the possibility of damage to the motor. Operation of the motor above a 5 percent voltage unbalance condition is not recommended.

When the derating curve of Fig. 14-1 is applied for operation on unbalanced voltages the selection and setting of the overload device should take into account the combination of the derating factor applied to the motor and the increase in current resulting from the unbalanced voltages. This is a complex problem involving the variation in motor current as a function of load and voltage unbalance in addition to the characteristics of the overload device relative to  $I_{\text{maximum}}$  or  $I_{\text{average}}$ . In the absence of specific information it is recommended that overload devices be selected and/or adjusted at the minimum value that does not result in tripping for the derating factor and voltage unbalance that applies. When unbalanced voltages are anticipated it is recommended that the overload devices be selected so as to be responsive to  $I_{\text{maximum}}$  in preference to overload devices responsive to  $I_{\text{average}}$ .

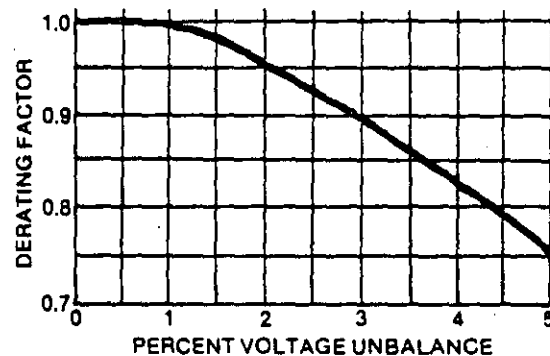


Fig. 14-1  
Integral Horsepower Motors Derating Factor Due to Unbalanced Voltage

**A. EFFECT ON PERFORMANCE—GENERAL**

The effect of unbalanced voltages on polyphase induction motors is equivalent to the introduction of a "negative sequence voltage" having a rotation opposite to that occurring with balanced voltages. This negative sequence voltage produces in the air gap a flux rotating against the rotation of the rotor, tending to produce high currents. A small negative sequence voltage may produce in the windings currents considerably in excess of those present under balanced voltage conditions.

**B. UNBALANCE DEFINED**

The voltage unbalance (or negative sequence voltage) in percent may be defined as follows:

$$\text{Voltage Unbalance} = 100 \times \frac{\text{Maximum voltage deviation from average voltage}}{\text{Average voltage}}$$

EXAMPLE—With voltages of 220, 215 and 210, the average is 215, the maximum deviation from the average is 5, and the percent unbalance =  $100 \times \frac{5}{215} = 2.3$  percent.



**C. TORQUES**

The locked-rotor torque and breakdown torque are decreased when the voltage is unbalanced. If the voltage unbalance should be extremely severe, the torques might not be adequate for the application.

**D. FULL-LOAD SPEED**

The full-load speed is reduced slightly when the motor operates at unbalanced voltages.

**E. CURRENTS**

The locked-rotor current will be unbalanced to the same degree that the voltages are unbalanced but the locked-rotor kVA will increase only slightly.

The currents at normal operating speed with unbalanced voltages will be greatly unbalanced in the order of approximately 6 to 10 times the voltage unbalance.

Authorized Engineering Information 11-13-1952, revised 11-8-1973; 5-15-1978.

**MG 1-14.35 Application of Alternating-current Motors with Service Factors****A. GENERAL**

A general-purpose alternating-current motor or any alternating-current motor having a service factor in accordance with MG 1-12.47 is suitable for continuous operation at rated load under the usual service conditions given in MG 1-14.02. When the voltage and frequency are maintained at the value specified on the nameplate, the motor may be overloaded up to the horsepower obtained by multiplying the rated horsepower by the service factor shown on the nameplate.

When the motor is operated at any service factor greater than 1, it may have efficiency, power factor and speed different from those at rated load, but the locked-rotor torque and current and breakdown torque will remain unchanged.

**B. TEMPERATURE RISE—  
INTEGRAL-HORSEPOWER  
ALTERNATING-CURRENT MOTORS**

When operated at the service factor load, the motor will have a temperature rise as specified in MG 1-12.42.1.b.

**C. TEMPERATURE RISE—  
FRACTIONAL-HORSEPOWER  
ALTERNATING-CURRENT MOTORS**

When operated at the service factor load, the motor will have a temperature rise as specified in MG 1-12.41, par. A.

Authorized Engineering Information 11-12-1964, revised 8-20-1966, 7-14-1971, 11-3-1977.

**MG 1-14.36 Characteristics of Part-winding-start Polyphase Induction Motors**

The result of energizing a portion of the primary winding of a polyphase induction motor will depend upon how this portion is distributed in the motor and, in some cases, may do nothing more than overload the portion of the winding so energized, i.e., result in no noticeable reduction of current or torque. For this reason, a standard 230/460-volt dual voltage motor may or may not be satisfactory for part-winding starting on a 240-volt circuit.

When the winding is distributed so as to be satisfactory for part-winding starting, a commonly used connection results in slightly less than 50 percent of normal locked-rotor torque and approximately 60 percent of normal locked-rotor current. It is evident that the torque may be insufficient to start the motor if it has much friction load. This is not important in applications where it is permissible to draw the full-winding starting current from the system in two increments. (If actual values of torque and current are important, they should be obtained from the motor manufacturer.)

If the motor does start when the first winding is energized, it may not accelerate to full speed. On part winding, it can at best develop less than half the torque it is capable of on full winding and usually the speed-torque characteristic is adversely affected by harmonics resulting from the unbalanced magnetic circuit. Further, the permissible accelerating time on part winding may be less than on full winding because of the higher current in the portion of the winding energized. However, in the usual application, the remainder of the winding is energized a few seconds after the first portion, and the motor then accelerates and runs smoothly. During the portion of the accelerating period that the motor is on part winding, it may be expected to be noisier than when on full winding.

Authorized Engineering Information 5-17-1955.

**MG 1-14.37 Coupling End-play and Rotor Float for Horizontal Alternating-current Motors**

Operating experience on horizontal sleeve bearing motors has shown that sufficient thrust to damage bearings may be transmitted to the motor through a flexible coupling. Damage to motor bearings due to thrusts under such conditions will be avoided if the following procedures are observed by the motor manufacturer and the driven equipment and motor assembler:

A. It is recommended that motors be provided with ball bearings wherever applicable, particularly for the ratings indicated in the following table:

Motor Hp	Synchronous Speed of Motors, Rpm
500 and below	3600, 3000, 1800 and 1500
350 and below	1200 and 1000
250 and below	900 and 750
200 and below	720 and below

B. Where motors are provided with sleeve bearings, the motor bearings and limited-end-float coupling should be applied as indicated in the following table:

Motor Hp	Synchronous Speed of Motor, Rpm	Min Motor Rotor End Float, Inch	Max Coupling End Float, Inch
125 to 250, incl.	3600 and 3000	0.25	0.09
300 to 500, incl.	3600 and 3000	0.50	0.19
125 to 500, incl.	1800 and below	0.25	0.09

C. To facilitate the assembly of driven equipment and sleeve and bearing motors on frames 440 and larger, the motor manufacturer should:

1. Indicate on the motor outline drawing the minimum motor rotor end play in inches.
2. Mark rotor end-play limits on motor shaft.

NOTE—The motor and the driven equipment should be assembled and adjusted at the installation site so that there will be some endwise clearance in the motor bearing under all operating conditions. The difference between the rotor end play and the end float in the coupling allows for expansion and contraction in the driven equipment, for clearance in the driven equipment thrust bearing, for endwise movement in the coupling, and for assembly.

Authorized Engineering Information 6-11-1946, revised 11-11-1954; 5-17-1955; 7-15-1970; 11-11-1976.

### MG 1-14.38 Output Speeds for Integral-horsepower Gear Motors of Parallel Construction

OUTPUT SPEEDS (BASED ON ASSUMED OPERATING SPEED OF 1750 RPM)			
Nominal Gear Ratios	Output Speeds	Nominal Gear Ratios	Output Speeds
1.225	1430	25.628	68
1.500	1170	31.388	56
1.837	950	38.442	45
2.250	780	47.082	37
2.756	640	57.633	30
3.375	520	70.623	25
4.134	420	86.495	20
5.062	350	105.934	16.5
6.200	280	129.742	13.5
7.594	230	158.900	11.0
9.300	190	194.612	9.0
11.390	155	238.350	7.5
13.950	125	291.917	6.0
17.086	100	357.525	5.0
20.926	84	437.875	4.0

These output speeds are based on an assumed operating speed of 1750 rpm and certain nominal gear ratios and will be modified:

1. By the variation in individual motor speeds from the basic operating speed of 1750 rpm.  
(The same list of output speeds may be applied to 50-hertz gear motors when employing motors of 1500 rpm synchronous speed if an assumed motor operating speed of 1430 rpm is used.)  
(This list of output speeds may be applied to 60-hertz gear motors when employing motors of 1200 rpm synchronous speed if an assumed motor operating speed of 1165 rpm is used.)
2. By a variation in the exact gear ratio from the nominal, which variation will not change the output speed by more than plus or minus 3 percent.

Recommended Standard 2-20-1941, NEMA Standard 11-12-1953, Authorized Engineering Information 11-15-1956.

### MG 1-14.41 Application of Integral-horsepower Alternating-current Machines with Encapsulated Windings

A. Integral-horsepower alternating-current machines with encapsulated windings are generally suitable for exposure to the following environmental conditions:

1. High humidity.
2. Water spray and condensation.
3. Detergents and mildly corrosive chemicals.
4. Mildly abrasive nonmagnetic air-borne dust in quantities insufficient to impede proper ventilation or mechanical operation.

B. For environmental conditions other than those listed in par. A, the motor manufacturers should be consulted. Such conditions may include the following:

1. Salt spray.
2. Oils, greases, fats and solvents.
3. Severely abrasive nonmagnetic dusts.
4. Vibration.
5. Occasional submergence in water with the motor not running.

C. The use of machines with encapsulated windings in hazardous areas does not obviate the need for other constructional features dictated by requirements for the areas involved.

NOTE—See par. 1.e in MG 1-12.42 for temperature rating.  
Authorized Engineering Information 7-7-1965.

MG 13-1.03 FRAME DESIGNATIONS FOR POLYPHASE, SQUIRREL-CAGE, DESIGNS A AND B,  
HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM,  
TOTALLY-ENCLOSED FAN-COOLED TYPE, 1.00 SERVICE FACTOR, 575 VOLTS AND LESS \*

Hp	Speed, Rpm			
	3600	1800	1200	900
1/2	...	...	...	143T
3/4	...	...	143T	145T
1	...	143T	145T	182T
1 1/2	143T	145T	182T	184T
2	145T	145T	184T	213T
3	182T	182T	213T	215T
5	184T	184T	215T	254T
7 1/2	213T	213T	254T	256T
10	215T	215T	256T	284T
15	254T	254T	284T	286T
20	256T	256T	286T	324T
25	284TS	284T	324T	326T
30	286TS	286T	326T	364T
40	324TS	324T	364T	365T
50	326TS	326T	365T	404T
60	364TS	364TS†	404T	405T
75	365TS	365TS†	405T	444T
100	405TS	405TS†	444T	445T
125	444TS	444TS†	445T	...
150	445TS	445TS†	...	...
200	...	...	...	...
250	...	...	...	...

\* The voltage rating of 115 volts applies only to motors rated 15 horsepower and smaller.

† When motors are to be used with V-belt or chain drives, the correct frame size is the frame size shown but with the suffix letter S omitted. For the corresponding shaft extension dimensions, see MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1.

NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations.

Suggested Standard for Future Design 1-21-1964, revised 11-12-1964; 7-7-1965, 11-11-1965,  
NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

Pub. No. MG 13

MG 13-1.01 FRAME DESIGNATIONS FOR SINGLE-PHASE, DESIGN L, HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM, OPEN TYPE, 1.15 SERVICE FACTOR, 230 VOLTS AND LESS

Hp	Speed, Rpm		
	2400	1800	1200
3/4	...	...	145T
1	...	143T	182T
1 1/2	143T	145T	184T
2	145T	182T	...
3	182T	184T	...
5	184T	213T	...
7 1/2	213T	215T	...

NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations. Suggested Standard for Future Design 7-7-1965, revised 11-11-1965, NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

MG 13-1.02 FRAME DESIGNATIONS FOR POLYPHASE, SQUIRREL-CAGE, DESIGNS A AND B, HORIZONTAL AND VERTICAL MOTORS, 60 HERTZ, CLASS B INSULATION SYSTEM, OPEN TYPE, 1.15 SERVICE FACTOR, 575 VOLTS AND LESS \*

Hp	Speed, Rpm			
	3600	1800	1200	900
1/2	...	...	...	143T
3/4	...	...	143T	145T
1	...	143T	145T	182T
1 1/2	143T	145T	182T	184T
2	145T	145T	184T	213T
3	145T	182T	213T	215T
5	182T	184T	215T	254T
7 1/2	184T	213T	254T	256T
10	213T	215T	256T	284T
15	215T	254T	284T	286T
20	254T	256T	286T	324T
25	256T	284T	324T	326T
30	284TS	286T	326T	364T
40	286TS	324T	364T	365T
50	324TS	326T	365T	404T
60	326TS	364TS†	404T	405T
75	364TS	365TS†	405T	444T
100	365TS	404TS†	444T	445T
125	404TS	405TS†	445T	...
150	405TS	444TS†	...	...
200	444TS	445TS†	...	...
250 ‡	445TS	...	...	...

\* The voltage rating of 115 volts applies only to motors rated 15 horsepower and smaller.

† When motors are to be used with V-belt or chain drives, the correct frame size is the frame size shown but with the suffix letter S omitted. For the corresponding shaft extension dimensions, see MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1.

‡ The 250 horsepower rating at the 3600 rpm speed has a 1.0 service factor.

NOTE—See MG 1-11.31 in NEMA Publication No. MG 1 for the dimensions of the frame designations. Suggested Standard for Future Design 1-21-1964, revised 11-12-1964; 7-7-1965; 11-11-1965; 8-20-1966, NEMA Standard 7-16-1969, revised 1-17-1974.

**MG 1-14.42 Application of V-belt Sheave Dimensions to Alternating-current Motors having Antifriction Bearings ▲**

A. Alternating-current motors having antifriction bearings and a continuous time rating with the frame sizes, horsepower and speed ratings listed below are designed to operate with V-belt sheaves within the limited dimensions listed. Selection of V-belt sheave dimensions is made by the V-belt drive vendor and the motor purchaser but, to assure satisfactory motor operation, the selected diameter shall be not smaller than, nor shall the selected width be greater than, the dimensions listed below:

**INTEGRAL-HORSEPOWER MOTORS—POLYPHASE INDUCTION\***

Frame Number	Horsepower at				V-belt Sheave			
	Synchronous Speed, Rpm				Conventional		Narrow	
	3600	1800	1200	900	A, B, C, D and E (See Note I)		3V, 5V and 8V (See Note II)	
				Minimum Pitch Diameter, Inches	Maximum Width, Inches	Minimum Outside Diameter, Inches	Maximum Width, Inches	
143T	1½	1	¾	½	2.2		2.2	
145T	2-3	1½-2	1	¾	2.4		2.4	
182T	3	3	1½	1	2.4		2.4	
182T	5	...	...	...	2.6		2.4	
184T	...	...	2	1½	2.4		2.4	
184T	5	...	...	...	2.6		2.4	
184T	7½	5	...	...	3.0		3.0	
213T	7½-10	7½	3	2	3.0		3.0	
215T	10	...	5	3	3.0		3.0	
215T	15	10	...	...	3.8		3.8	
254T	15	...	7½	5	3.8		3.8	
254T	20	15	...	...	4.4		4.4	
256T	20-25	...	10	7½	4.4		4.4	
256T	...	20	...	...	4.6		4.4	
284T	...	...	15	10	4.6		4.4	
284T	...	25	...	...	5.0	See Note	4.4	See Note
286T	...	30	20	15	5.4	III	5.2	IV
324T	...	40	25	20	6.0		6.0	
326T	...	50	30	25	6.8		6.8	
364T	...	...	40	30	6.8		6.8	
364T	...	60	...	...	7.4		7.4	
365T	...	...	50	40	8.2		8.2	
365T	...	75	...	...	9.0		8.6	
404T	...	...	60	...	9.0		8.0	
404T	...	...	...	50	9.0		8.4	
404T	...	100	...	...	10.0		8.6	
405T	...	...	75	60	10.0		10.0	
405T	...	100	...	...	10.0		8.6	
405T	...	125	...	...	11.5		10.5	
444T	...	...	100	...	11.0		10.0	
444T	...	...	...	75	10.5		9.5	
444T	...	125	...	...	11.0		9.5	
444T	...	150	...	...	...		10.5	
445T	...	...	125	...	12.5		12.0	
445T	...	...	...	100	12.5		12.0	
445T	...	150	...	...	...		10.5	
445T	...	200	...	...	...		13.2	

\* For the maximum speed of the drive components, see MG 1-14.07, par. C.

NOTE I—As covered by *Engineering Standards—Specifications for Drives Using Multiple V-Belts (A, B, C, D and E Cross-sections)*†, dated January 1964.

NOTE II—As covered by *Standard Specifications for Drives Using Narrow V-Belts (3V, 5V and 8V Cross-sections)*†, dated July 1964.

NOTE III—The width of the sheave shall be not greater than that required to transmit the indicated horsepower but in no case shall it be wider than 2(N-W)-0.25.

NOTE IV—The width of the sheave shall be not greater than that required to transmit the indicated horsepower but in no case shall it be wider than (N-W).

NOTE V—For the assignment of horsepower and speed ratings to frames, see NEMA Publication No. MG 13.

Suggested Standard for Future Design 7-7-1965, revised 11-11-1965; 11-17-1966, NEMA Standard 11-13-1969; revised 5-12-1975; 11-11-1976; 9-7-1977; 5-15-1978.

(Continued)

▲ Revised.

NOTE VI—The sheave dimensions in the foregoing table are based on the following:

- (a) Motor nameplate horsepower and speed.
- (b) Belt service factor of 1.6 with belts tightened to belt manufacturers' recommendations.
- (c) Speed reduction of 5:1.
- (d) Mounting of sheave on motor shaft in accordance with MG 1-14.07.
- (e) Center-to-center distance between sheaves approximately equal to the diameter of the larger sheave.
- (f) Calculations based upon standards covered by Notes I and II, as applicable.

Authorized Engineering Information 7-7-1965.

† Copies may be obtained from: Mechanical Power Transmission Association and The Rubber Manufacturers Association, Inc.  
1717 Howard Street  
Evanston, IL 60201  
444 Madison Avenue  
New York, NY 10022

B. For motors having speeds and ratings other than those given in par. A, the motor manufacturer should be consulted.

Authorized Engineering Information 9-7-1977.

**MG 1-14.43 Aseismatic Capability**

See MG 1-20.83.

**MG 1-14.44 Power Factor of Three-phase, Squirrel-cage, Integral Horsepower Motors with Continuous Ratings ▲**

A. The approximately full-load power factor can be calculated from published or nameplate data as follows:

$$PF = \frac{431 \times HP}{E \times I \times Eff.}$$

Where:

PF = Per unit power factor at full load.

$$\left( \text{per unit PF} = \frac{\text{Percent PF}}{100} \right)$$

HP = Rated horsepower.

E = Rated voltage.

I = Rated current.

Eff. = Per unit nominal full-load efficiency from published data or as marked on the motor nameplate or associated with the index letter on the nameplate (as listed in MG 1-12.53.b).

$$\left( \text{per unit Eff.} = \frac{\text{percent Eff.}}{100} \right)$$

B. For safety reasons, it is generally better to improve power factor for multiple loads as a part of the plant distribution system. In those cases where local codes or other circumstances require improving the power factor of an individual motor,

▲ Revised.

the KVAR rating of the improvement capacitor can be calculated as follows:

$$KVAR = \frac{.746 \times HP}{Eff.} \times \left( \frac{\sqrt{1 - (PF)^2}}{PF} - \frac{\sqrt{1 - (PF_1)^2}}{PF_1} \right)$$

Where:

KVAR = Rating of three-phase power factor improvement capacitor.

HP =  
Eff. = } As defined in par. A.  
PF = }

PF<sub>1</sub> = Improved per unit power factor for the motor-capacitor combination.

C. In some cases, it may be desirable to determine the resultant power factor, PF<sub>1</sub>, where the power factor improvement capacitor selected within the maximum safe value specified by the motor manufacturer is known. The resultant full-load power factor, PF<sub>1</sub>, can be calculated from the following:

$$PF_1 = \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\sqrt{1 - (PF)^2}}{PF} - \frac{KVAR \times EFF}{.746 \times HP} \right)^2 + 1}}$$

**WARNING:** In no case should power factor improvement capacitors be applied in ratings exceeding the maximum safe value specified by the motor manufacturer. Excessive improvement may cause over excitation resulting in high transient voltages, currents and torques that can increase safety hazards to personnel and cause possible damage to the motor or to the driven equipment. For additional information on safety considerations in the application of power factor improvement capacitors, see NEMA Publication No. MG 2, *Safety Standard for Construction and Guide for Selection, Installation and Use of Electric Motors and Generators*. Also see "Power Factor Corrections—Motor Circuit" under article 460 of the *National Electrical Code*.

Authorized Engineering Information 7-13-1977; revised 5-15-1978.

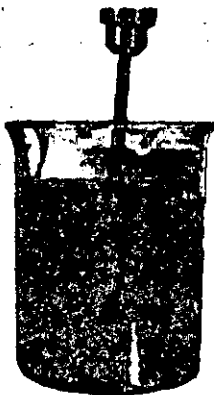
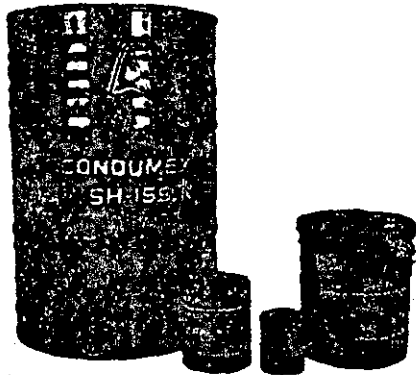


87

PUBLICACION  
HT-30.3  
ENERO 1982

# CONDUMEX

BARNIZ DE IMPREGNACION CONDUMEX® SH 155.



## DESCRIPCION

El barniz de impregnación Condumex SH-155 cumple los requerimientos de operación para equipos clase 155°C (F).

## APLICACIONES

Motores (rotor y estator), transformadores y bobinas en general.

Para una aplicación óptima se recomienda usar este barniz en equipos construidos con cualquier alambre magneto de Condumex.

Sus características de penetración y continuidad de la película aislante aunadas a sus propiedades eléctricas, mecánicas y químicas, aseguran una excelente impregnación, así como la protección adicional requerida en los equipos donde se aplica.

## RECOMENDACIONES PARA SU USO

### METODO DE APLICACION

Inmersión o inmersión con vacío.

### SOLVENTE RECOMENDADO

Condumex "S"

### PRECAUCIONES

- Es recomendable ajustar cada 24 horas la viscosidad del barniz en el tanque de impregnación, para asegurar que penetre adecuadamente en los devanados.
- Material flamable, mantenga los recipientes tapados y en lugar limpio y seco.

Es recomendable ajustar cada 24 horas la viscosidad del barniz

**DATOS TECNICOS**

Especificación Aplicable: ASTM D-115 \*

PROPIEDADES	CARACTERISTICAS	VALORES TIPICOS OBTENIDOS
ELECTRICAS *	esfuerzo dieléctrico en seco	138 KV/mm ( 3,500 V.P.M. )
	esfuerzo dieléctrico bajo humedad	98.5 KV/mm ( 2,500 V.P.M. ) (24 hrs. en agua)
MECANICAS *	esfuerzo de pegado a 25°C	16 kgs. (alambre magneto base Formanel ® ) 1
	esfuerzo de pegado a 155°C	3 kgs. (alambre magneto base Formanel ® ) 1
FISICAS *	viscosidad a 25°C	70-90 seg. (copa ford no. 4)
	contenido de sólidos	50-54%
TERMICAS	tiempo de secado	15 min. (10 grs. cápsula aluminio a 150°C)
	tiempo de horneado	1-4 horas de 150° a 170°C*

© Marca Industrial Registrada

\* Dependiendo del tamaño de la pieza, la temperatura del horno y el espesor de la película de barniz.

1. Por ser la condición más crítica

REGISTRO: **DM-1**

Condamex, S.A. de C.V.

Poniente 140 No. 720 02300 México, D.F. Tel. Conmutador Gral. 5-87-70-11

Cotización de Pedidos 5-87-88-32.



**CARACTERISTICAS TECNICAS**  
**Método de Prueba : NEMA MW 1000 Parte 3**  
**Producto : Doble Termanel M. R. Nylon Calibre 18 AWG**

PROPIEDADES	C A R A C T E R I S T I C A S	VALORES TIPICOS OBTENIDOS
TERMICAS	Choque Térmico ( 20%, S/3 x $\phi$ , 30 min )	175° C
	Flujo Termoplástico ( 2000 g., 5° C/min )	300° C
	Resistencia a Sobrecargas ( Figura de Mérito )	4.3
MECANICAS	Elongación ( % a ruptura )	40%
	Resorteo ( 454 g., S/3 x $\phi$ )	45°
	Adherencia y Flexibilidad ( 20%, S/3 x $\phi$ )	Sin agrietamientos en el esmalte
	Abrasión Unidireccional ( 880 g., 0°, 120°, 240° )	1550 g. prom.
ELECTRICAS	Esfuerzo Dieléctrico ( Par torcido a temperatura ambiente )	177 kV/mm ( 4500 V/mil )
	Continuidad	No presenta discontinuidades
QUIMICAS	Resistencia a Solventes ( 10 min. a 150° C, 30 min. en Xilol a 60° C )	Sin excesivo reblandecimiento del esmalte ni ampollas
	Estabilidad Hidrolítica ( Tubo sellado 1 semana a 150° C en presencia de humedad )	Hidroliza



40

**ALAMBRE MAGNETO**  
**TERMANEL M.R. NYLON 155°**

**DESCRIPCION:**

Alambre Magneto esmaltado con poliéster modificado y sobrecapa de Nylon de clase térmica 155° (F).

**PROPIEDADES:**

El Termanel Nylon es un producto que combina las propiedades mecánicas del Nylon con las propiedades térmicas de los poliésteres, por lo que se aplica principalmente en equipos que operen a temperaturas elevadas y cuyos procesos de fabricación requieran buena devanabilidad.

**APLICACIONES:**

Motores clase F, transformadores tipo seco, bobinas encapsuladas, motores de aparatos electrodomésticos.



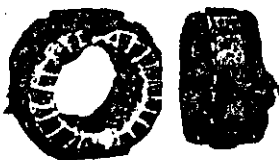
En aplicaciones donde se requiera impregnación se recomienda utilizar barnices de Condumex clase 155° ó 180°, con el fin de obtener un sistema Termanel Nylon-Barniz de Impregnación confiable.

**DATOS PARA PEDIDO:**

Especificar calibre, construcción, empaque y cantidad en kilogramos. Calibres disponibles: Alambres redondos dobles del 13-29 AWG.

**RECOMENDACIONES GENERALES:**

- No se recomienda utilizar el Termanel Nylon en aplicaciones en las que existan condiciones severas de humedad, dado que el Nylon podría hidrolizarse.
- No es compatible con aceite de transformador ni askarel.



**ESPECIFICACIONES:**  
NEMA MW 1000 24-C

**REGISTRO: NOM-I**

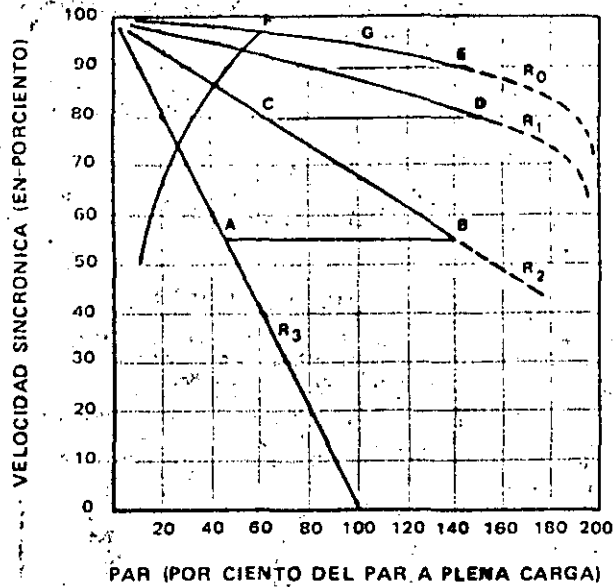


Fig. 5

Se divide el voltaje del rotor a circuito abierto, entre el producto de  $\sqrt{3}$  por el valor de la corriente nominal del rotor. En este punto, el motor arranca con el 100% del par nominal y la corriente de plena carga, mientras el factor de potencia y la potencia de entrada al rotor, se mantiene en un valor muy cercano al del motor operando en condiciones nominales.

Después de ser arrancado el motor, éste empieza a acelerarse y a disminuir su par; cuando la velocidad ha alcanzado, el 55% de la velocidad sincrónica, se elimina  $R_3$  y entra  $R_2$ . Una vez que entró  $R_2$ , el par aumentó del punto A al punto B y ahora el motor opera sobre la curva  $R_2$ .

Ahora el motor empieza a acelerarse hasta un 80% de la velocidad de sincronismo y entra  $R_1$ .

Al entrar  $R_1$  el par aumenta del punto C al punto D, y el motor opera ahora sobre la curva  $R_1$  hasta que el motor alcanza el 92% de la velocidad sincrónica y es momento en el cual pueden cortocircuitarse los anillos y la velocidad crece del punto E al punto F, que es el 60% del par nominal donde el motor queda operando, debido a que la curva de plena carga así lo requirió. El motor puede pasarse a operar con el 100% de par nominal, teniéndose una muy ligera dis-

minución de velocidad que variará del punto E al punto G.

Habiendo entendido la manera en que opera un control de velocidad, podemos pasar ahora a un ejemplo práctico:

Deseamos conocer los valores de resistencia en cada tap que deberá tener un control de velocidad de un motor de rotor devanado, para una bomba de 30 H.P., 4 polos, que deberá arrancar con el 100% de par de plena carga y deberá acelerar a intervalos de 50 ( $R_4$ ), 70 ( $R_3$ ), 80 ( $R_2$ ) y 90% ( $R_1$ ) de la velocidad de sincronismo, antes de poner en corto-circuito los anillos y operar al 100% de par nominal con la carga acoplada. Los datos típicos de este motor son:

$$E_s = 240 \text{ Volts}$$

$$I_s = 65 \text{ A}$$

$$\text{RPM}_{pc} = 1750$$

de donde

$$E_s = \text{Tensión del secundario}$$

$$I_s = \text{Corriente en el secundario}$$

$$\text{RPM}_{pc} = \text{Revoluciones por minuto a plena carga}$$

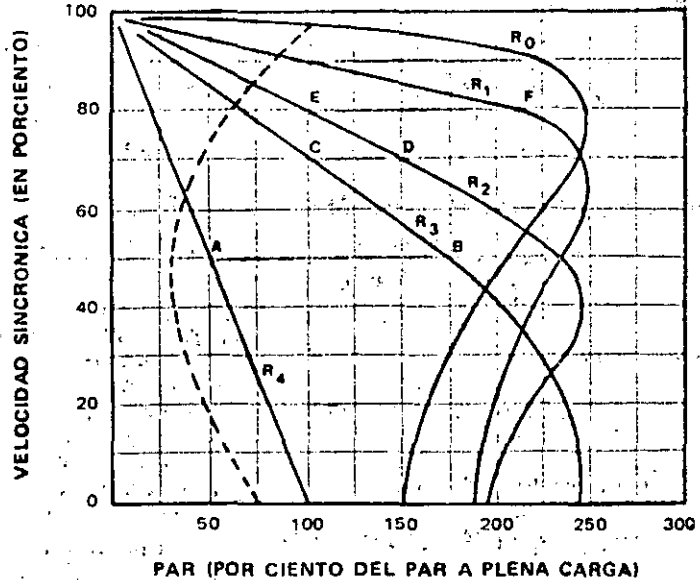


Fig. 6

Considerando los datos del problema:

$$R_4 = \frac{E_s}{I_s \sqrt{3}} = \frac{240}{65 \times 1.73} = 2.13 \Omega$$

Indica que con esta resistencia el motor arrancará a 100% del par nominal y aumentará la velocidad del motor hasta un 50% de la velocidad de sincronismo.

El siguiente paso es conocer la "resistencia efectiva del rotor"; cuando el motor esté operando a 100% del par de plena carga, este valor se logra mediante la ecuación:

$$R_e = S_{pc} \times R_4$$

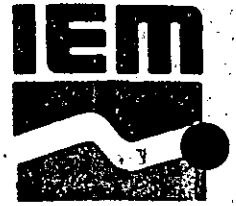
$$S_{pc} = \text{Deslizamiento a plena carga}$$

$$S_{pc} = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{1800 - 1750}{1800} = 0.0277 \Omega$$

$$R_e = 0.0277 \times 2.13 = 0.059$$

La resistencia del circuito cuando el motor está al 50% de velocidad sincrónica es:

$$R_{circ. 50\%} = S_{50\%} \times R_4$$



donde

$$S_{50\%} = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

y

$N_r = 50\%$  de 1800 será:  $N_r = 900$  RPM

$$S_{50} = \frac{1800 - 900}{1800} = 0.50$$

por lo tanto:

$$R_{circ.} = 0.50 \times 2.13 = 1.065 \Omega$$

Y la resistencia externa será:

$$R_{ext.} = R_{circ.} - R_e = 1.065 - 0.059 = 1.006 \Omega$$

Este es el valor de  $R_3$ ; con este valor de  $R_3$ , el motor llegará hasta el 70% de la velocidad de sincronismo.

Por lo tanto:

$$R_{circ.} 70\% = S_{70\%} \times R_4$$

donde:

$$S_{70\%} = \frac{1800 - 1260}{1800} = 0.30$$

$$R_{circ.} = 0.30 \times 2.13 = 0.639 \Omega$$

Y la resistencia externa:

$$R_{ext.} = R_{circ.} - R_e = 0.639 - 0.050 = 0.58 \Omega$$

Este es el valor de  $R_2$ , con el cual el motor llegará hasta el 80% de la velocidad de sincronismo.

Por lo tanto:

$$R_{circ.} 80\% = S_{80\%} \times R_4$$

donde:

$$S_{80\%} = \frac{1800 - 1440}{1800} = 0.20$$

$$R_{circ.} = 0.20 \times 2.13 = 0.426 \Omega$$

$$R_{ext.} = 0.426 - 0.059 = 0.367 \Omega$$

Este es el valor de  $R_1$  con el cual el motor llegará al 90% de la velocidad de sincronismo.

Por lo tanto:

$$R_{circ.} 90\% = S_{90\%} \times R_4$$

donde:

$$S_{90\%} = \frac{1800 - 1620}{1800} = 0.10$$

$$R_{circ.} = 0.10 \times 2.13 = 0.213 \Omega$$

$$R_{ext.} = 0.213 - 0.059 = 0.154 \Omega$$

En este momento, el rotor queda operando al 100% del par de plena carga y con los anillos colectores en corto-circuito. Cabe hacer notar, que los motores de inducción de rotor devanado pueden ser arrancados de tal manera que proporcionen pares mayores que el 100%, según las necesidades de la carga a manejar.

Con respecto a este punto, el deslizamiento para un par dado, es directamente proporcional a la resistencia del rotor.

Si  $S_1$  representa el deslizamiento para un determinado par con los anillos en corto-circuito y  $R_2$  la resistencia por fase, si deseamos mantener el mismo par existente cuando el deslizamiento sea  $S_2$ , la resistencia total del rotor  $R_t$  es:

$$\frac{R_t}{R_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

La resistencia que deberá ser insertada por fase es:

$$R = R_t - R_2 = R_2 \frac{S_2 - S_1}{S_1}$$

NOTA: Los valores de resistencia deberán estar en Ohms ( $\Omega$ )

**DATOS DEL ROTOR**

Los datos del rotor mostrados en la tabla siguiente, están basados en Normas NEMA para motores de rotor devanado.

C.P.	Volts máximos de circuito abierto en vacío	Amperes máximos Por terminal a plena carga
1	90	6.0
1.5	110	7.3
2	120	8.4
3	145	10
5	140	19
7.5	185	23
10	196	28.5
15	240	32.5
20	265	38
25	220	60
30	240	65
40	315	60
50	350	87
60	375	74
75	385	90
100	380	130
125	385	150
150	380	185
200	440	285

**Recomendaciones para la Selección del Control del Motor de Rotor Devanado**

M.P.	Volts (3 Fases 60 Hertz) ①	Tamaño Contactor primario	No. de puntos de Aceleración ②	H.P.	Volts (3 Fases 60 Hertz) ①	Tamaño Contactor primario	No. de puntos de Aceleración ②
15	230 460-575	1	2	100	230 460-575	5 4	4
25	230 460-575	3 2	3	125	230 460-575	6 5	4
30	230 460-575	3	3	150	230 460-575	6 5	4
50	230 460-575	4 3	3	200	230 460-575	6 5	5
75	230 460-575	5 4	3	250	230 460-575	7 6	5

- ① Tensiones nominales en el primario (Estator)
- ② El número de contactores de aceleración, es el número de puntos de aceleración menos uno.



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

DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO

CALCULO DE VUELTAS/BOBINA

ING. HUMBERTO SÁNCHEZ

9 OCTUBRE, 1984

# CALCULO DE VUELTAS / BOBINA

①

$$T_2 = T_1 \times \frac{E_2}{E_1} \times \sqrt{\frac{HP_1}{HP_2}} \times \sqrt{\frac{f_1}{f_2}} \times \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

Donde:

$T_1$  = No. vueltas/Bob. del motor original o de referencia

$E_1$  = Voltaje de operacion " " " "

$HP_1$  = Potencia nominal " " " "

$f_1$  = Frecuencia " " " "

$L_1$  = Long. de nucleo " " " "

$T_2$  = No vueltas/Bob. del motor nuevo o modificado

$E_2$  = Voltaje de operacion " " " "

$HP_2$  = Potencia nominal " " " "

$f_2$  = Frecuencia " " " "

$L_2$  = Long. de nucleo " " " "

A. Sánchez

Oct/84

RELACIONES ENTRE EL N° DE VUELTAS/BOB., EL PAR DE ARRANQUE, LA CORRIENTE DE ARRANQUE, LA DENSIDAD DE FLUSO Y LA LONG. DE NUCLEO.

$$\overline{T}_{a2} = \overline{T}_{a1} \left( \frac{\overline{I}_1}{\overline{I}_2} \right)^2$$

$$\underline{I}_{a2} = \underline{I}_{a1} \left( \frac{\overline{I}_1}{\overline{I}_2} \right)$$

$$\phi_2 = \phi_1 \left( \frac{\overline{I}_1}{\overline{I}_2} \right), \quad B = \frac{\phi}{A} \quad A \propto L.$$

$$B_2 = B_1 \left( \frac{\overline{I}_1}{\overline{I}_2} \right) \quad \text{SI } L.N. = \text{cte.}$$

$$B_2 = B_1 \left( \frac{\overline{I}_1}{\overline{I}_2} \right) \left( \frac{L_1}{L_2} \right) \quad \text{SI VARIAMOS } L.$$

- donde:
- $\overline{T}_a$  = Par de arranque
  - $\underline{I}_a$  = Corriente de arranque
  - $\phi$  = flujo magnetico
  - $B$  = densidad de flujo
  - $L$  = longitud de nucleo.

H. Sánchez  
Oct/18

Ejemplo 1.- Se tiene un motor de 50 c.p. 4 polos que opera a 550 volts y 50 Hz. Su devanado consta de 15 v/B.

Si deseamos operar este motor a 440V y 60 Hz. DETERMINAR EL NUEVO NUM. DE VUELTAS CON QUE SE DEBERA DEVANAR EL MOTOR.

- $E_1 = 550 V$
- $f_1 = 50 Hz$
- $T_1 = 15$
- $E_2 = 440$
- $f_2 = 60 Hz$
- $T_2 = ?$

$$T_2 = 15 \left( \frac{440}{550} \right) \sqrt{\frac{50}{60}}$$

$$T_2 = 10.95 \approx 11$$

$$T_2 = 11 \text{ Vueltas/Bob.}$$

NOTA.- AL HACER ESTE CAMBIO DEBERA AUMENTARSE LA SECCION DE CONDUCTOR EN LA MISMA PROPORCION EN QUE SE DISMINUYERON LAS VUELTAS.

$$A_{c2} = A_c \left( \frac{T_1}{T_2} \right)$$

$A_c = \text{Area de conductor.}$

H. Sánchez



EJEMPLO 2.- SE TIENE UN MOTOR DE 75 HP  
 4 POLOS CON UN F.P. y EFICIENCIA  
 SATISFACTORIOS. SE DESEA TRABAJAR  
 ESE MOTOR A 40 HP PERMANENTEMENTE.  
 SI EL MOTOR TIENE ACTUALMENTE  
 11 V/B, CALCULAR EL NUEVO NO. DE  
 V/B PARA QUE EL MOTOR TRABASE A  
 40 HP SIN REDUCIR SU F.P. y EFICIENCIA.

$T_1 = 11$   
 $HP_1 = 75$   
 $HP_2 = 40$   
 $T_2 = ?$

$$T_2 = 11 \times \sqrt{\frac{75}{40}} = 15.06$$

$$T_2 = 15 \text{ V/B}$$

H. Sánchez  
 Oct/64

EJEMPLO 3.- SE DESEA DISEÑAR UN MOTOR DE 20 C.P. - 4 POLOS - A.P.G. EN ARM. 364T (EN LUGAR DE ARM. 256T QUE ES LA NORMAL). SE RECOMIENDA TOMAR COMO REFERENCIA EL MOTOR DE 40 C.P. - 4 POLOS (VER ESP. ELECT. MX-1272)

1ª SOLUCION.-

HP<sub>1</sub> = 40

T<sub>1</sub> = 7 1/8

HP<sub>2</sub> = 20

T<sub>2</sub> = ?

A<sub>R</sub> = .231

$$T_2 = 7 \sqrt{\frac{40}{20}} = 9.9$$

$$T_2 = 10 \frac{1}{8}$$

$$F.E. = \frac{2 \times 10 (3 \times .003)}{.231} = .78 - \text{NO CABE}$$

Usando

2 #16      F.E. =  $\frac{2 \times 10 (2 \times .003)}{.231} = .52 \checkmark$

EL DEVANADO CONSTARA DE 10 1/8 CON 2 ALAMBRES CAL. #16 POR CONDUCTOR

H. Sánchez  
Oct/84

Ejem. 3.-

(6)

2ª solución.-

$$HP_1 = 40$$

$$T_1 = 7$$

$$L_1 = 5.5$$

$$HP_2 = 20$$

$$L_2 = 4.0$$

$$T_2 = ?$$

$$\overline{T}_2 = 7 \sqrt{\frac{40}{20}} \times \sqrt{\frac{5.5}{4}} = 11.6$$

$$\overline{T}_2 = 11.5 \sqrt{B} \text{ en conex Y-YY}$$

$$\overline{T}_2 = 23 \sqrt{B} \text{ en conex YY-4Y}$$

Usando

$$1\#16 \quad F.O. = \frac{2 \times 23 (1 \times .003)}{.231} = .60$$

VERIFICACION DE LA DENSIDAD

$$B_2 = B_1 \times \frac{T_1}{T_2} \times \frac{L_1}{L_2}$$

$$B_2 = B_1 \times \frac{7}{11.5} \times \frac{5.5}{4} = .84 B_1$$

Oct/84

H. Sánchez

### EJEMPLO 4.-

SE TIENE UN MOTOR DE 30 C.P. - 6 POLOS  
 CON UNA  $I_a = 150$  Amps. a 440V. y un  
 $T_a = 120\%$ . CALCULAR LAS VUELTAS POR  
 BOBINA NECESARIAS PARA CORREGIR SU  $T_a$   
 SI ORIGINALMENTE TIENE 18 V/B

Normas -  $T_{a2} = 135$   
 $T_1 = 18$   
 $T_2 = ?$

$$T_{a2} = T_{a1} \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^2$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{T_{a2}}{T_{a1}}}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\sqrt{\frac{T_{a2}}{T_{a1}}}}$$

$$T_2 = \frac{18}{\sqrt{\frac{135}{120}}} = 16.97$$

$$T_2 = \underline{17 \text{ V/B}}$$

$$I_{a2} = 150 \left( \frac{18}{17} \right) = \underline{159 \text{ amps.}}$$

H. Sánchez

Oct/84



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

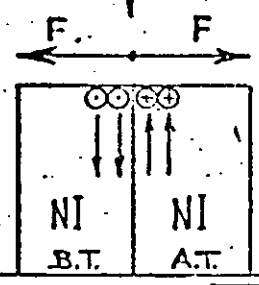
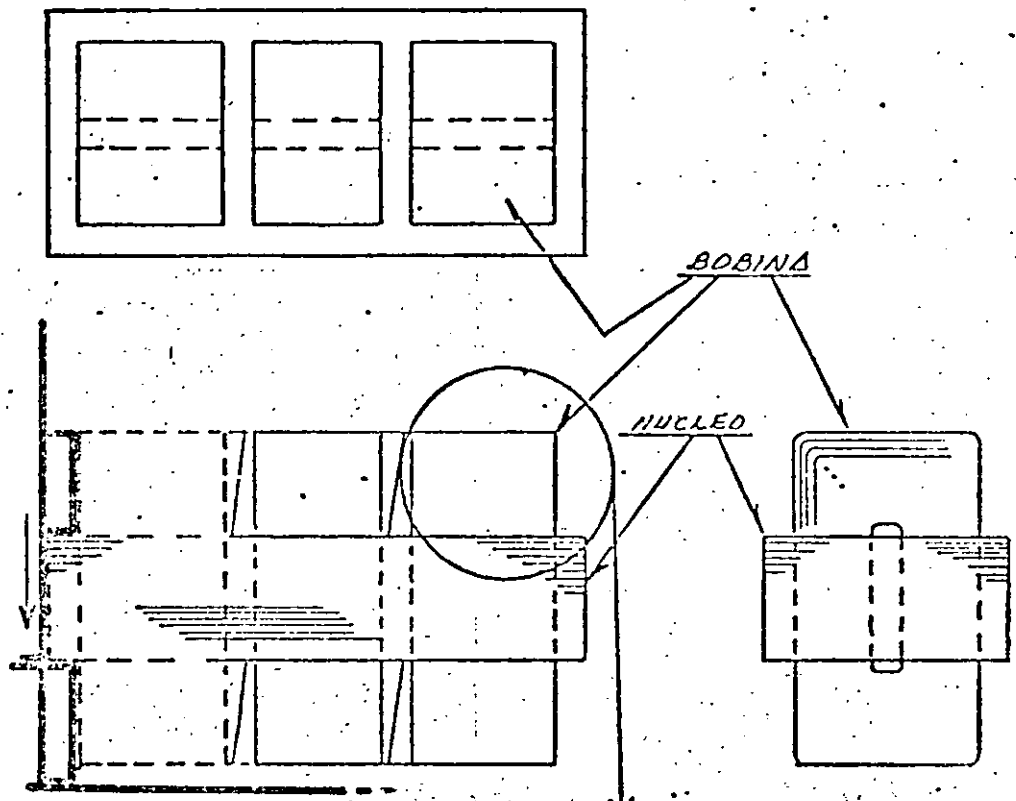
**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO ELECTRICO**

**TEMA: DISTRIBUCION DE FUERZAS EN UN TRANSFORMADOR  
ACORAZADO**

Octubre, 1984.



DISTRIBUCION DE FUERZAS EN UN TRANSFORMADOR ACORAZADO

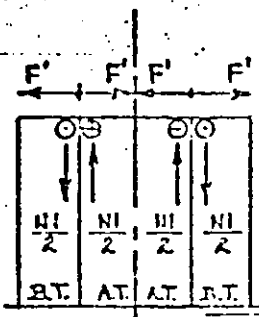


$$F = f [(NI)^2]$$

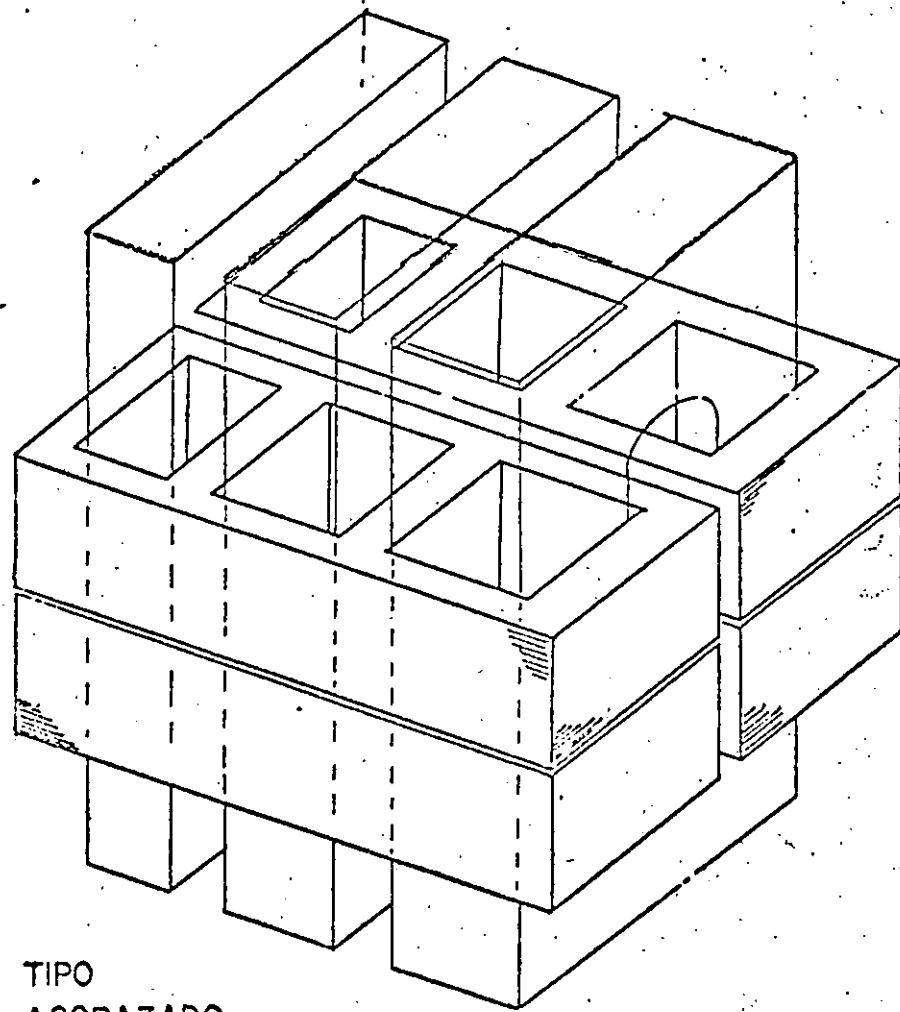
si  $NI/2$

$$F' = f \left[ \left( \frac{NI}{2} \right)^2 \right] = \left[ \frac{(NI)^2}{4} \right]$$

$$F' = \frac{F}{4}$$

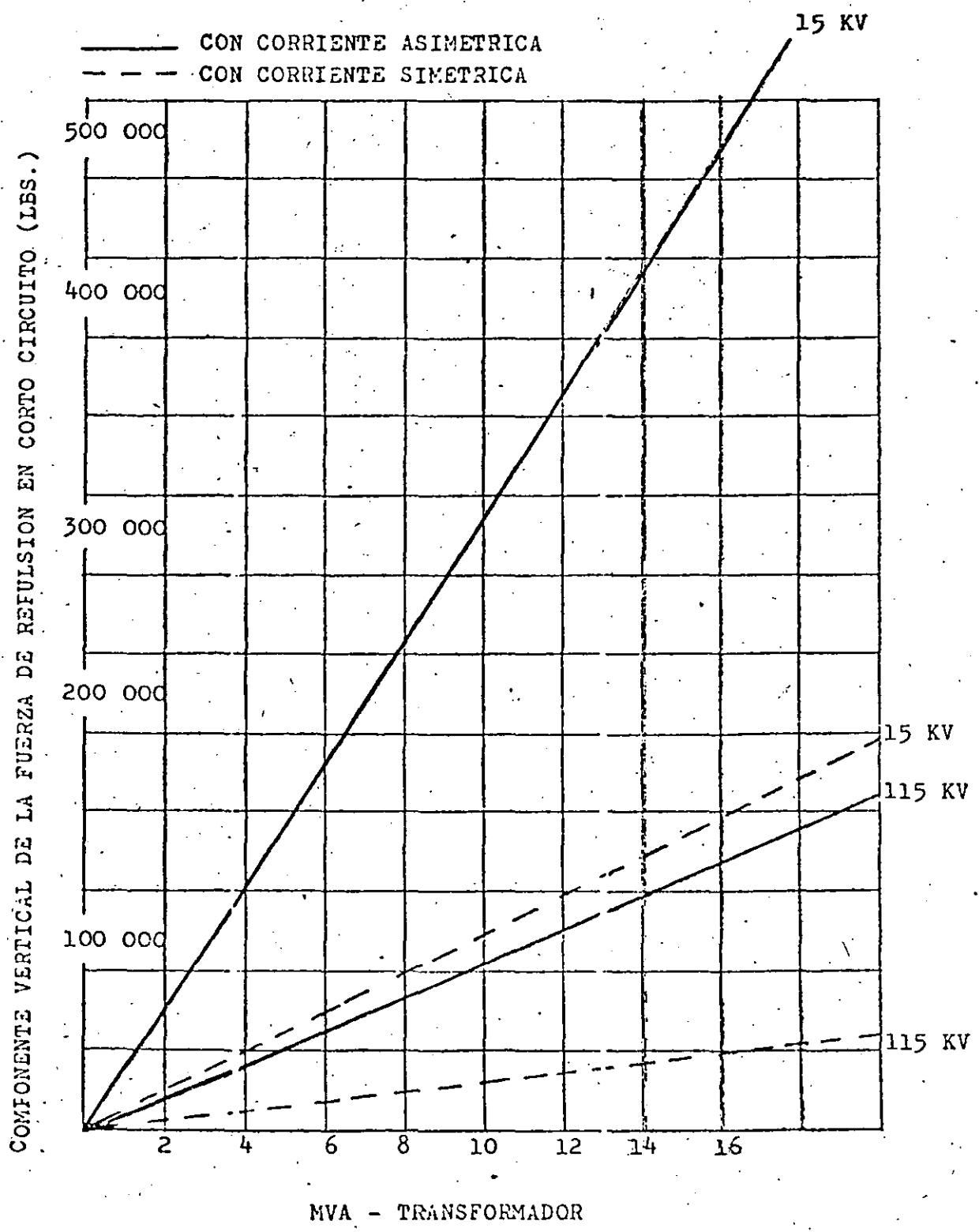


BOBINA



TIPO  
ACORAZADO.

COMIENENTE VERTICAL DE LA FUERZA DE CORTO CIRCUITO  
ENTRE ALTA Y BAJA TENSION  
TRANSFORMADOR TRIFASICO TIPO NUCLEO





short-circuit calculations should be made on a "per unit" basis.

**10.3 Mechanical Limit of Transformers for Short-Circuit Conditions.** For determination of mechanical stress, the initial short-circuit current shall be assumed to be completely offset so as to give the maximum crest value of the short-circuit current. This maximum crest value of the short-circuit current is two times the crest value of the rms symmetrical short circuit current decreased by the decrement factor of the transformer winding.

The maximum crest value of the short-circuit current which the transformer is required to withstand shall be determined as follows:

$$I_{(\text{maximum crest})} = KI_{sc} \quad (\text{Eq 1})$$

where

- $I_{sc}$  = short-circuit current, rms symmetrical
- $K$  = multiplier obtained below

$r/x$	$K$	$r/x$	$K$	$r/x$	$K$
0.001	2.824	0.01	2.785	0.1	2.450
0.002	2.819	0.02	2.742	0.2	2.169
0.003	2.815	0.03	2.702	0.3	1.965
0.004	2.811	0.04	2.661	0.4	1.817
0.005	2.806	0.05	2.623	0.5	1.708
0.006	2.802	0.06	2.585	0.6	1.629
0.007	2.798	0.07	2.549	0.7	1.571
0.008	2.793	0.08	2.514	0.8	1.529
0.009	2.789	0.09	2.480	0.9	1.498
0.010	2.785	0.10	2.450	1.0	1.475

The multiplier  $K$  is calculated from

$$K = (1 + e^{-\pi r/x}) \sqrt{2} \quad (\text{Eq 2})$$

where

- $e$  = base of natural logarithms
- $r/x$  = ratio of effective alternating current ohms resistance to ohms reactance in transformer impedance for the transformer connections when the short circuit occurs

**NOTE:** For the case of a multiwinding transformer with voltage maintained on two or more windings, the corresponding terminals of the equivalent circuit of the transformer shall be considered to be connected together and to a single source of voltage. The  $r/x$  ratio of the equivalent impedance of this circuit between the voltage source and the terminal under short circuit shall be used for determining  $K$ .

**10.4 Temperature Limits of Transformers for Short-Circuit Conditions.** The temperature of the conductor material in the windings of transformers under the short-circuit conditions specified in Section 10.1, as calculated by methods given in the appropriate section of American National Standard C57.12.90-1973 (IEEE Std 262-1973), shall not exceed the limiting values given in Table 17 for the respective time factors " $f$ " given in the table. The time factor shall be calculated as follows:

$$f = \frac{CT}{W} \quad (\text{Eq 3})$$

where

- $f$  = time factor, in seconds
- $T$  = steady state hot spot temperature rise in degrees C at continuous current rating:
  - (1) Above top oil temperature for oil-immersed transformer equipment
  - (2) Above ambient air temperature for dry type transformer equipment
- $W$  = power density of conductor material at the standard hottest spot temperature in watts per pound
- $C$  = thermal capacity or specific heat in watt-seconds per degree C per pound of conductor material and its associated turn insulation as calculated by Equation 31 or 32 of American National Standard C57.12.90-1973 (IEEE Std 262-1973)

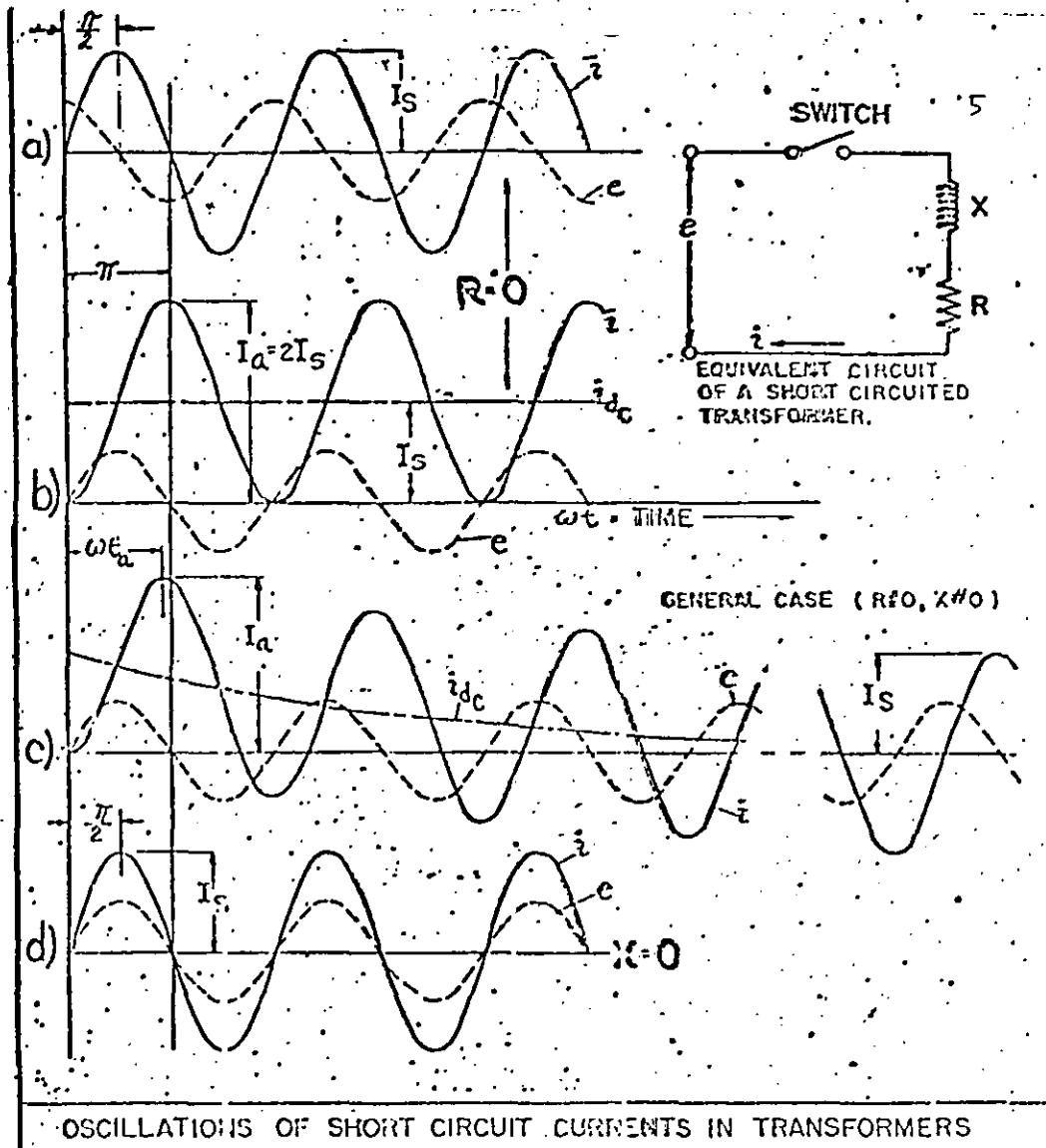
The hottest spot temperature under short circuit shall be taken as shown in Table 17.

## 11. Revision of American National Standards Referred to in This Document

When the following American National Standards referred to in this document are superseded by a revision approved by the American National Standards Institute, the revision shall apply:

American National Standard Compressed Gas Cylinder Valve Outlet and Inlet Connections, B57.1-1965

American National Standard Requirements for Transformers, 138 000 Volts and Below, 501 Through 10 000 13 333/16 667



FIGS. a & b, mostrando el caso de una resistencia puramente inductiva,  $e = 0$

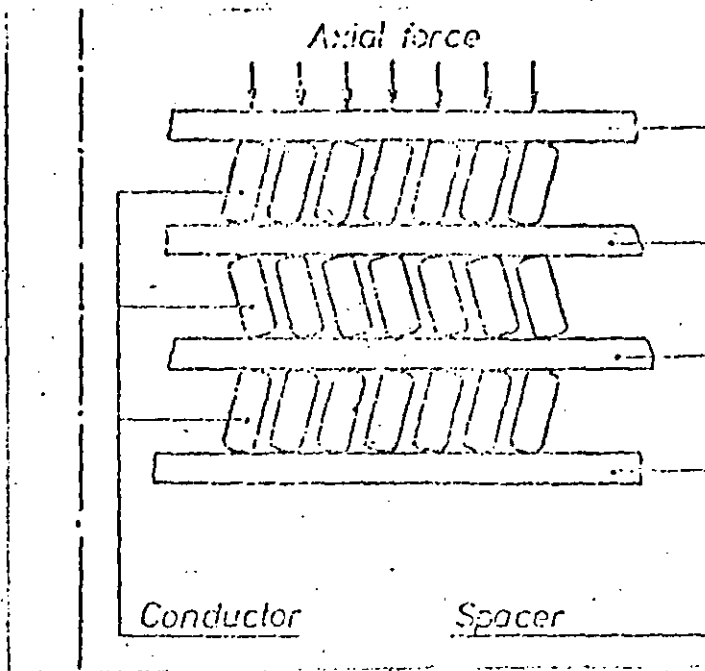
FIG. a) mostrando la corriente de c.c. simétrica

FIG. b) mostrando la corriente de c.c. asimétrica

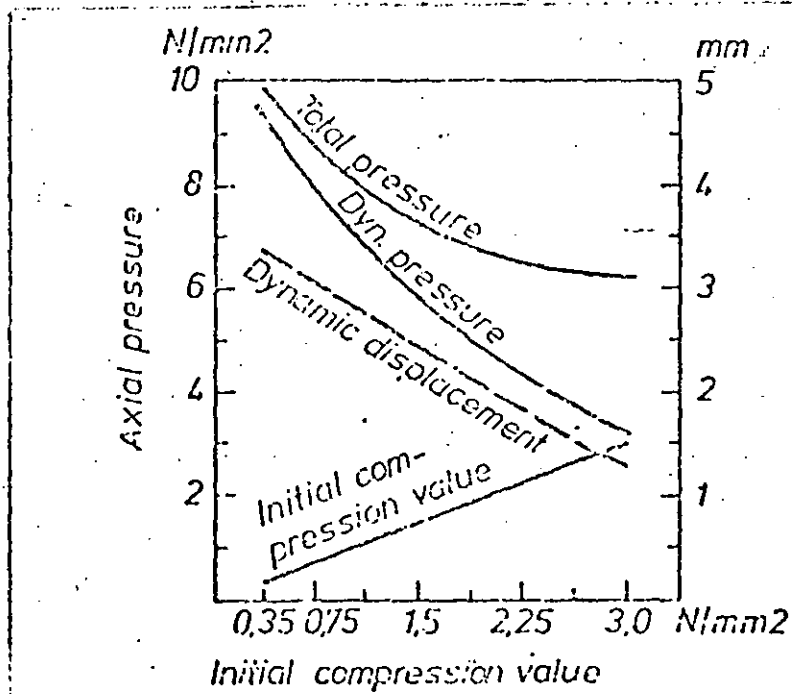
FIG. c) mostrando el caso general  $R \neq 0$  &  $X \neq 0$

FIG. d) mostrando la corriente de c.c. simétrica en el caso de una resistencia puramente resistiva,  $X = 0$

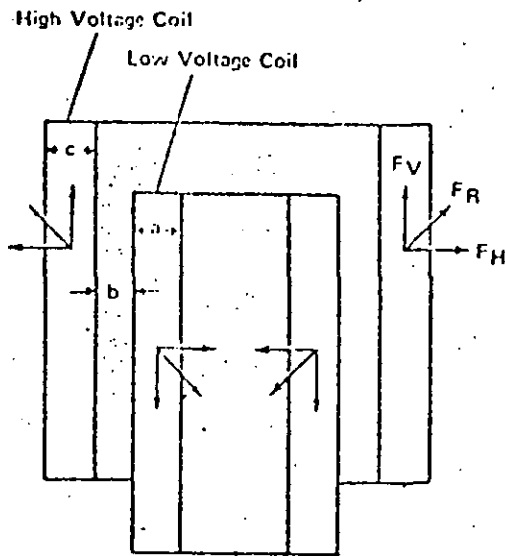
$K_F = f(R/X)$									
R/X	$K_F$	R/X	$K_F$	R/X	$K_F$	R/X	$K_F$	R/X	$K_F$
0.00	4.00	0.06	3.35	0.12	2.90	0.16	2.50	0.60	1.40
0.01	3.87	0.07	3.26	0.13	2.81	0.19	2.44	0.70	1.30
0.02	3.73	0.08	3.19	0.14	2.74	0.20	2.39	0.80	1.23
0.03	3.63	0.09	3.11	0.15	2.68	0.30	2.00	0.90	1.18
0.04	3.53	0.10	3.02	0.16	2.63	0.40	1.74	1.00	1.14



ESFUERZOS DE CORTO CIRCUITO EN UN TRANSFORMADOR TIPO NUCLEO CON BOBINAS CILINDRICAS.



INFLUENCIA DE LA PRE-COMPRESION EN EL ESFUERZO AXIAL DE CORTO CIRCUITO.



- $F_R$  = Total Force of Repulsion
- $F_V$  = Vertical Component of  $F_R$
- $F_H$  = Horizontal Component of  $F_R$

Figure 2a.

ESFUERZO AXIAL DE CORTO CIRCUITO EN UN TRANSFORMADOR TIPO NUCLEO.

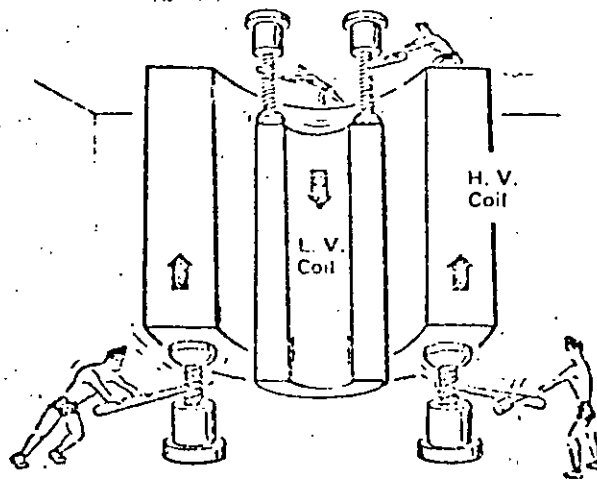


Figure 2b.

**Table 17**  
**Temperature Limits\* of Transformers for Short-Circuit Conditions**

Oil-Immersed Transformer		Dry-Type Transformers					
55°C Rise 95°C Hot Spot		55°C Rise 95°C Hot Spot		60°C Rise 140°C Hot Spot		150°C Rise 210°C Hot Spot	
Time Factor	Temp† Limit	Time Factor	Temp† Limit	Time Factor	Temp† Limit	Time Factor	Temp† Limit
120	250	2 300	250	2 100	350	1 650	450
150	245	2 950	245	2 450	345	1 950	445
230	240	3 700	240	2 900	340	2 250	440
330	235	4 700	235	3 450	335	2 650	435
430	230	6 000	230	4 100	330	3 050	430
600	225	7 700	225	4 900	325	3 600	425
810	220	10 000	220	5 900	320	4 300	420
1 550	210	16 500	210	8 500	310	5 900	410
3 100	200	29 000	200	12 500	300	8 400	400
6 200	190	51 600	190	18 500	290	12 000	390
13 000	180	92 000	180	27 500	280	17 000	380
27 500	170	170 600	170	41 000	270	25 000	370

\*Temperature limits for intermediate values of time factor may be obtained by interpolation.  
These temperature limits are based on thermal effects only; mechanical or other considerations may impose further limitations.

†The maximum permissible temperature for each class of insulation is as follows: 55°C rise, 250°C; 60°C rise, 250°C; 150°C rise, 450°C.

kVA, Single-Phase, 501 Through 30 000/40 000/50 000 kVA, Three-Phase, C57.12.10-1969

American National Standard Requirements for Overhead-Type Distribution Transformers, 67 000 Volts and Below; 500 kVA and Smaller, C57.12.20-1971

American National Standard Requirements for Three-Phase Load-Tap-Changing Transformers, 138 000 Volts and Below, 3750 Through 30 000/40 000/50 000 kVA, C57.12.30-1971

American National Standard Terminal Markings and Connections for Distribution and Power Transformers, C57.12.70-1964 (R1971)

American National Standard Test Code for Distribution, Power, and Regulating Transformers, C57.12.90-1973 (IEEE Std 262-1973)

American National Standard Requirements for Instrument Transformers, C57.13-1968

American National Standard Requirements, Terminology, and Test Code for Step-Voltage and Induction-Voltage Regulators, C57.15-1968

American National Standard Require-

ments for Arc Furnace Transformers, C57.17-1965 (R1971)

American National Standard Requirements, Terminology, and Test Code for Pool-Cathode Mercury-Arc Rectifier Transformers, C57.18-1964 (R1971)

American National Standard Methods of Testing Electrical Insulating Oils, C59.2-1970

American National Standard Measurement of Voltage in Dielectric Tests, C68.1-1968 (IEEE Std 4-1968)

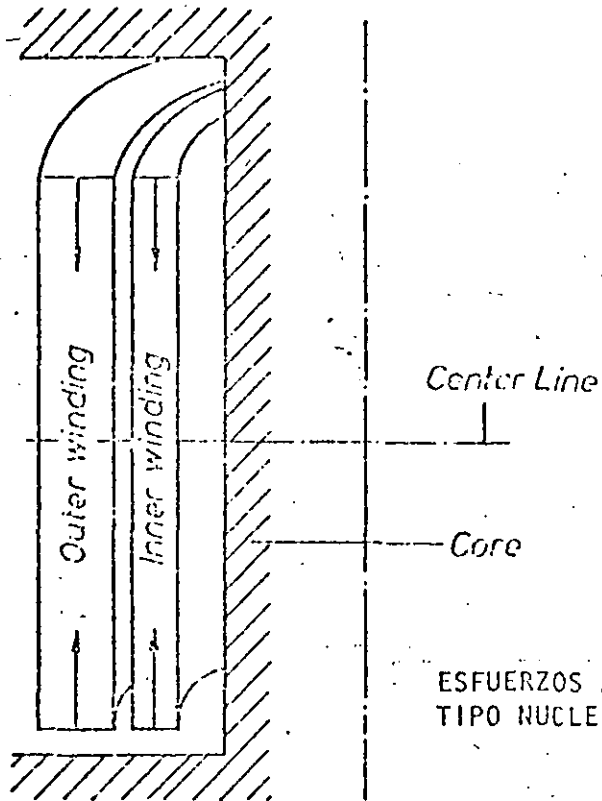
American National Standard Requirements and Test Code for Outdoor Apparatus Bushings, C76.1-1964 (R1970)

American National Standard Voltage Ratings for Electric Power Systems and Equipment (60 Hz), C84.1-1970

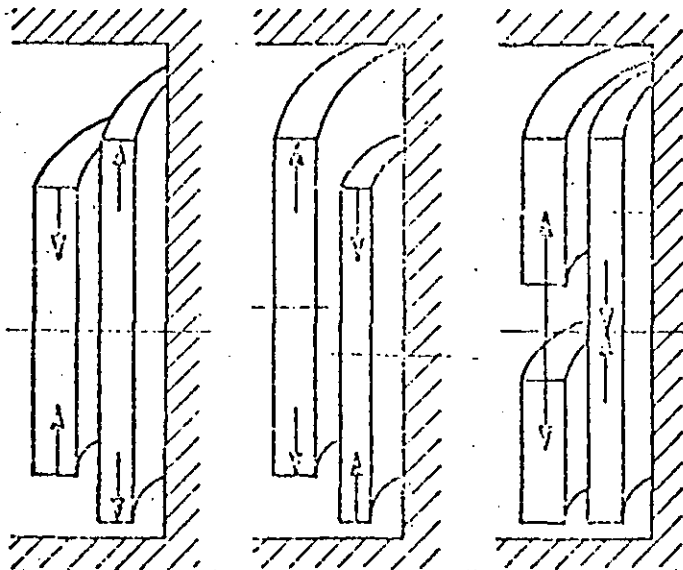
American National Standard Requirements and Terminology for Specialty Transformers, C89.1-1961 (R1969)

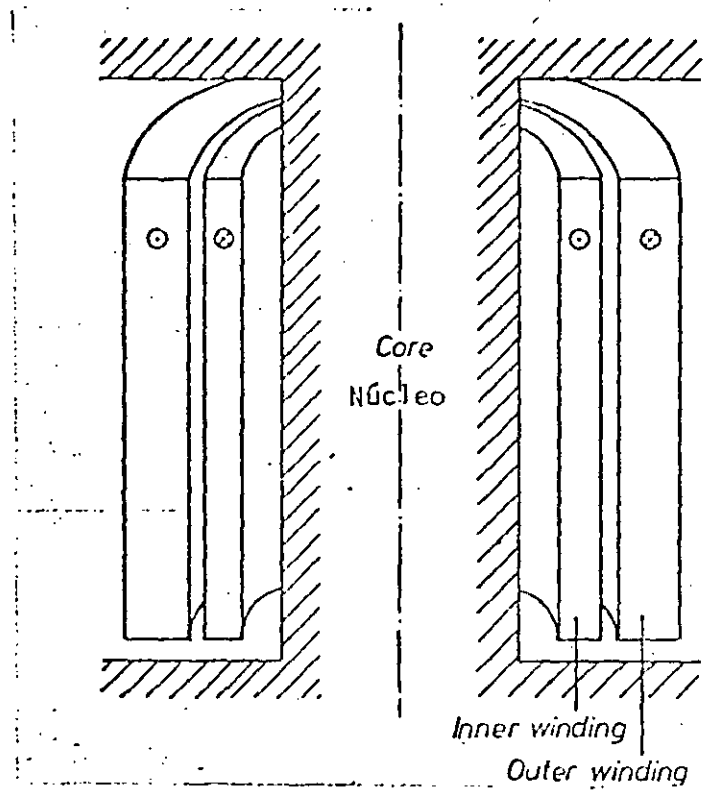
American National Standard Preferred Voltage Ratings for Extra High-Voltage Alternating-Current Systems (Voltages Above 230 Kilovolts), C92.2-1967

American National Standard Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams, Y32.2-1970 (IEEE Std 315-1970)

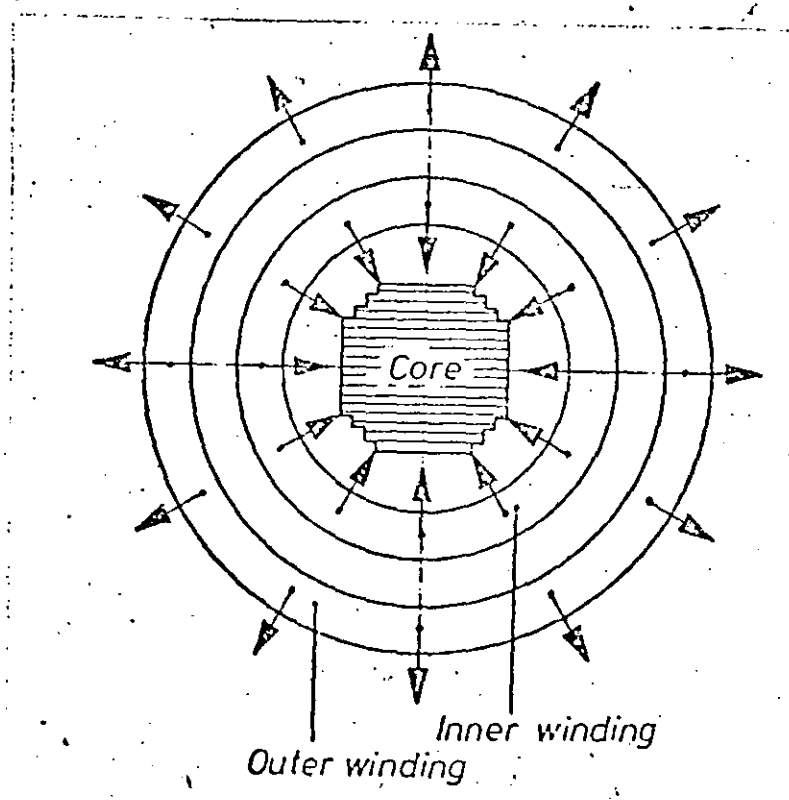


ESFUERZOS AXIALES EN TRANSFORMADOR TIPO NUCLEO.





ESFUERZO RADIAL DE CORTO CIRCUITO EN UN TRANSFORMADOR TIPO NUCLEO, CON BOBINAS CILINDRICAS.



LA CORRIENTE BAJO CONDICIONES DE CORTO CIRCUITO ES LIMITADA, SOLO POR LA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR

$$I_{cc} = I_{nom.} \times \frac{100}{\% Z} \quad - 11$$

POR LO QUE LA FUERZA RESULTANTE BAJO CORTO CIRCUITO RESULTA:

$$F_H = \frac{2.82 \times \left(\frac{NI^2}{Z}\right) \times V_m}{\alpha \times 10^3} \quad \text{(LIBRAS)} \quad 12$$

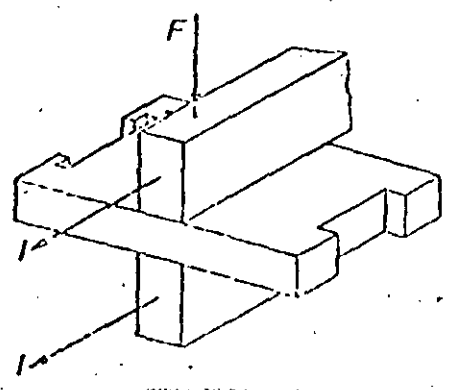
FUERZAS VERTICALES.

SI LOS CENTROS ELECTRICOS , NO SE ENCUENTRAN EN EL MISMO PLANO HORIZONTAL, EXISTIRA UNA COMPONENTE VERTICAL A LA FUERZA DE REPULSION ENTRE ELLOS.

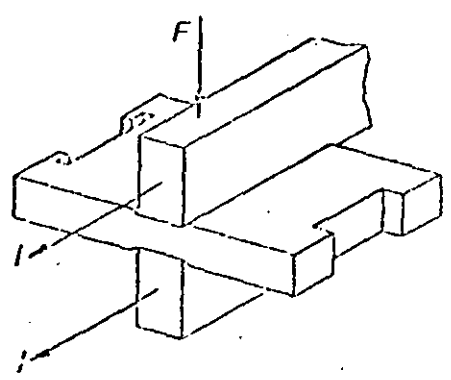
$$FV = FH \frac{d}{\sqrt{D^2 + d}}$$



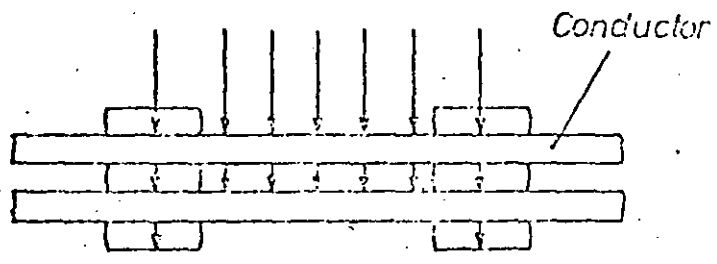
ESFUERZOS DE CORTO CIRCUITO EN UN TRANSFORMADOR TIPO NUCLEO -- CON BOBINAS CILINDRICAS.



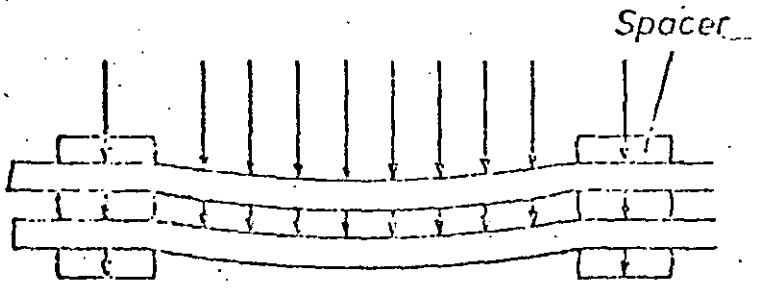
ANTES DEL CORTO CIRCUITO



DESPUES DEL CORTO CIRCUITO



COMPRESION AXIAL EN EL CONDUCTOR.



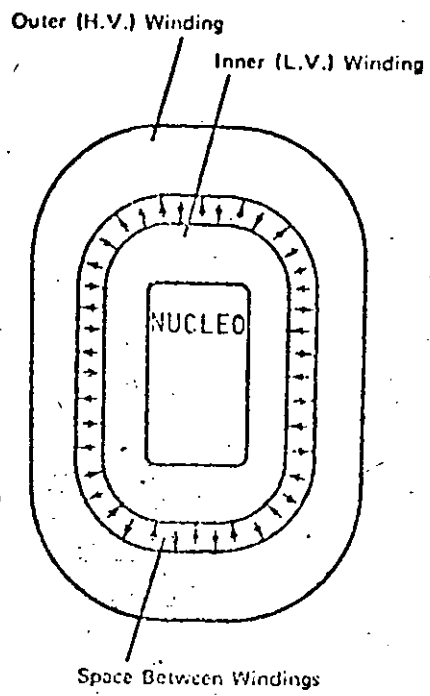


Figure 1a.

ESFUERZO RADIAL DE CORTO CIRCUITO EN UN TRANSFORMADOR TIPO NUCLEO, CON BOBINAS RECTANGULARES.

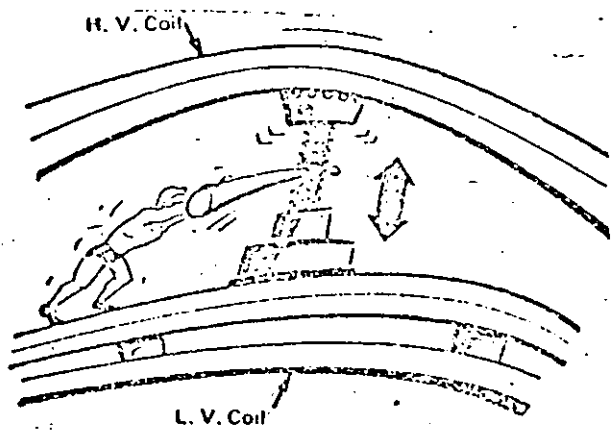
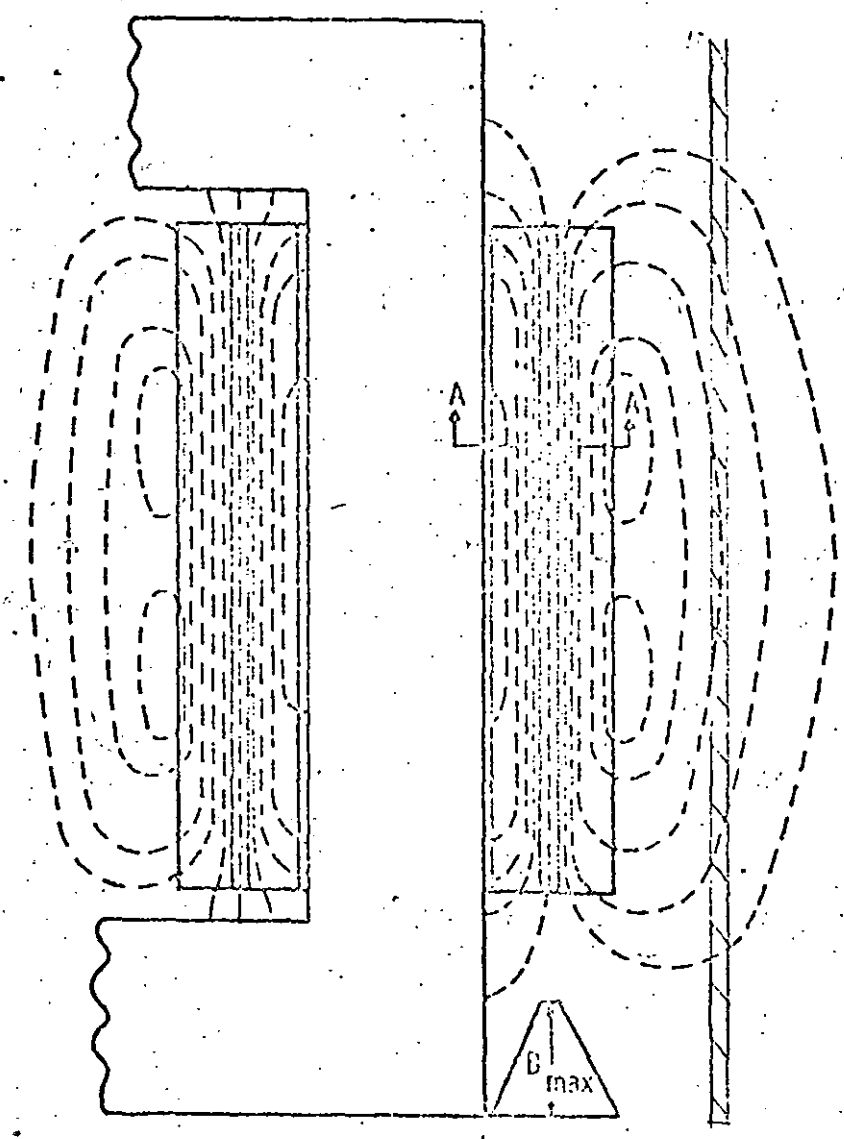


Figure 1b

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

DATE	INITIALS	DESCRIPTION	AMOUNT	REMARKS
1952				
1953				
1954				
1955				
1956				
1957				
1958				
1959				
1960				
1961				
1962				
1963				
1964				
1965				
1966				
1967				
1968				
1969				
1970				
1971				
1972				
1973				
1974				
1975				
1976				
1977				
1978				
1979				
1980				
1981				
1982				
1983				
1984				
1985				
1986				
1987				
1988				
1989				
1990				
1991				
1992				
1993				
1994				
1995				
1996				
1997				
1998				
1999				
2000				
2001				
2002				
2003				
2004				
2005				
2006				
2007				
2008				
2009				
2010				
2011				
2012				
2013				
2014				
2015				
2016				
2017				
2018				
2019				
2020				
2021				
2022				
2023				
2024				
2025				
2026				
2027				
2028				
2029				
2030				

UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY



DISTRIBUCION DE  
FLUJO EN LA SECCION  
A-A

DISTRIBUCION TIPICA DEL CAMPO DE FLUJO DE DISPERSION DE UN TRANSFORMADOR  
TIPO NUCLEO CON BOBINA CONCENTRICAS Y DERIVACIONES EN ALTA TENSION.



Un conductor transportando corriente en un campo magnético, se produce una fuerza proporcional a la intensidad del campo magnético y a la longitud del conductor.

$$F = B I_a \ell \quad (\text{dinas}) \quad - \quad 1$$

Siendo:

- B = Intensidad de campo magnético.
- $I_A$  = Corriente en Abamper (1 abamper = 10 Amps. C.D. o R.M.S.).
- $\ell$  = Longitud del conductor.

En un transformador la corriente es sinusoidal, si  $I_A$  es expresado en valor RMS, LA FUERZA EN EL PICO DE LA ONDA DE LA CORRIENTE SERA:

$$F(\text{máxima}) = \sqrt{2} B \times \frac{I_A}{10} \ell = 0.1414 B I \ell \quad (\text{dinas})$$

18

LEY DE OHM PARA CIRCUITOS MAGNETICOS SE TIENE QUE:

$$F \text{ magnetomotriz} = \phi R - \text{eq. 4}$$

Siendo:

$\phi$  = FLUJO MAGNETICO (maxwells)

R = RELUCTANCIA

$$R = \frac{\alpha}{\mu A}$$

$\alpha$  = Longitud de la trayectoria de dispersión

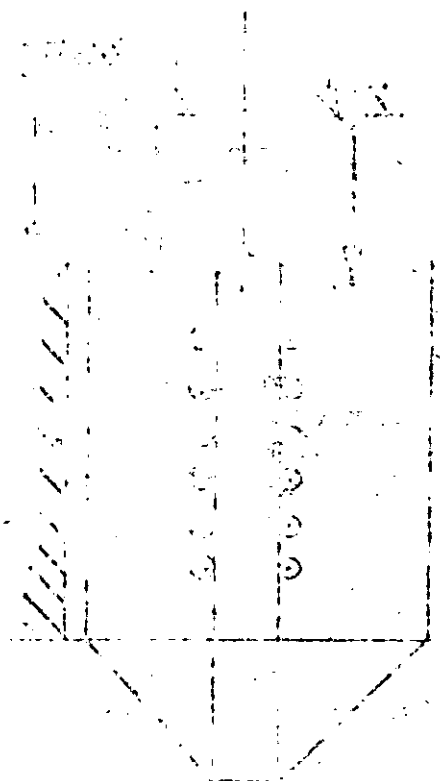
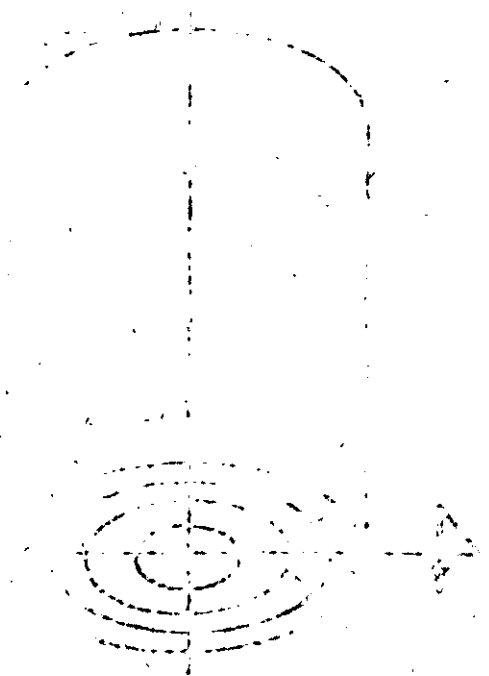
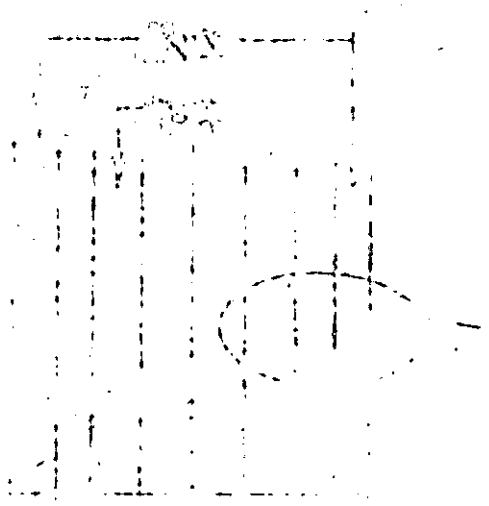
A = Area transversal

$\mu$  = Permeabilidad = 1.0 aire o aceite

Sustituyendo el resultado obtenido en ecuación No.3 en la No. 4 y reacomodando términos se tiene:

$$\phi = \frac{F_m}{R} = 1.78 \frac{NI A}{\alpha} \quad 5$$

SIENDO LA DENSIDAD DE FLUJO IGUAL AL FLUJO POR UNIDAD DE AREA SE TIENE.







15. JOSE CARLOS B. MUÑIZ GRAMAJO  
Copilco 162- E-22 D-201  
Col. Nueva Copilco  
México, D.F.  
550 85 57

U N A M  
Ingeniería Eléctrica  
Ciudad Universitaria  
México, D.F.

16. HECTOR OSORIO GONZALEZ  
Escuadrón 201 No. 471-1  
Col. Ticomán  
Deleg. Gustavo A. Madero  
789 34 56

UNIDAD DEPARTAMENTAL BOMBEO NORTE  
Ferrocarril Interoceánico 76  
Col. Morelos  
Deleg. Venustiano Carranza  
México, D.F.

17. J. MANUEL PAZ VAZQUEZ  
Agapando 41  
Col. Jardines de Coyoacán  
Deleg. Coyoacán  
04890 México, D.F.  
684 76 95

CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A.  
Melchor Ocampo 171  
Col. Anáhuac  
Deleg. Cuauhtémoc  
México, D.F.  
592 07 65

18. FERNANDO ROJAS MENDOZA  
Potrero Verde 300-I-203  
Col. Jacarandas  
Cuernavaca, Mor.  
14 38 11 ext. 3226

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
Interior Internado. Palmira  
Cuernavaca, Mor:

19. JORGE A. TORRES SALGADO  
Norte 67-Edif. F. Dpto. 6  
Col. Obrero Popular  
México, D.F.

VIGGERS HERMANOS, S.A.  
Maíz 89 Local 6 y 7  
Col. Granjas Esmeralda  
Deleg. Iztapalapa  
México, D.F.  
670 48 11

20. A. JESUS TORRES LERMA  
Calz. Ignacio Zaragoza 452  
Deleg. Venustiano Carranza  
15700 México, D.F.  
571 06 85

21. DAVID VAZQUEZ ORTIZ  
Amado Nervo 11  
Col. Sta. Fé  
Deleg. Alvaro Obregón  
01260 México, D.F.  
570 07 36

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM  
Ciudad Universitaria  
México, D.F.

22. ARTURO VENEGAS VARGAS  
Cisne 35-2  
Col. Bellavista  
Delg. Alvaro Obregón  
México, D.F.  
516 41 65

DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION  
Y OPERACION HIDRAULICA  
San Antonio Abad 231  
Col. Obrera  
México, D.F.  
588 26 49

23. INOCENTE ROSALES SEDANO  
Allende 204  
Col. Amatitlán  
Cuernavaca, Mor.  
12 93 39

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
Interior Internado Palmira  
Cuernavaca, Mor.  
14 38 11

24. SANTA AVILA

S.C.T.