

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

CALCULO DE LOS DEVANADOS DE UN MOTOR MONOFASICO
Y SU DETERMINACION EXPERIMENTAL

TESIS DE GRADO
previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

presentada por
ELIAS W. ANDRADE DIAZ

Guayaquil-Ecuador
1982

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Adolfo Salcedo, por su acertada dirección y colaboración en la realización de este trabajo. Además, dejo constancia de mi gratitud al Ing. Gustavo Bermudez por la ayuda brindada a la presente obra.

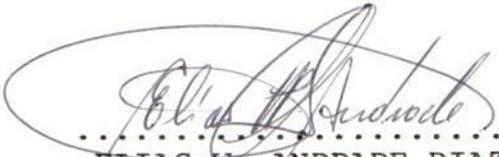


.....
Ing. Adolfo Salcedo Guerrero
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)



.....
ELIAS W. ANDRADE DIAZ

R E S U M E N

En este trabajo se ha desarrollado un método para la construcción de motores monofásicos con rotor jaula de ardilla, a partir de un núcleo existente.

Se han determinado los parámetros, en función de las dimensiones del motor, y en forma experimental.

Con el fin de comprobar las características para las que fueron diseñadas, se han encontrado las características de arranque y de carga del motor.

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
NOMENCLATURA.....	IV
I. INTRODUCCION.....	1
II. MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO.....	3
2.1 Introducción.....	3
2.2 Principio Fundamental.....	5
2.2.1 Teoría del Campo Transversal.....	5
2.2.2 Teoría del Campo Giratorio Doble.....	8
2.3 Motor con Condensador de Arranque.....	9
III. CALCULO DE LOS DEVANADOS DE REGIMEN Y DE ARRANQUE.....	11
3.1 Introducción.....	11
3.2 Devanado de Régimen.....	12
3.2.1 Densidad de los Dientes del Estator... ..	12
3.2.2 Flujo total por Polo.....	13
3.2.3 Número Total de Conductores.....	14
3.2.4 Conductores por Ranura.....	16
3.2.5 Diámetro del Conductor.....	17

3.3	Devanado de Arranque.....	20
3.3.1	Número total de conductores.....	21
3.3.2	Conductores por ranuras.....	22
3.3.3	Diámetro del Conductor.....	22
3.4	Devanado de Régimen y de Arranque.....	23
3.4.1	Peso de los devanados de Régimen y de Arranque.....	24
3.4.1.1	Peso del Devanado de Régimen...	24
3.4.1.2	Peso del Devanado de Arranque..	27
3.5	Programa de Computación.....	28
IV.	DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DEL MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO.....	41
4.1	Introducción.....	41
4.2	Parámetros a partir de las dimensiones del motor.....	41
4.2.1	Resistencia del Devanado de Régimen..	41
4.2.2	Reactancia Magnetizante.....	42
4.2.3	Reactancia de Dispersión.....	44
4.2.3.1	Reactancia de las Ranuras..	45
4.2.3.2	Reactancia de ZIG-ZAG.....	48
4.2.3.3	Reactancia de Zona.....	50
4.2.3.4	Reactancia de Sesgo.....	51
4.2.3.5	Reactancia de los Terminales	52
4.2.4	Resistencia del Rotor.....	55
4.3	Parámetros por Vía Experimental.....	55

4.3.1	Medición de la Resistencia del Devanado de Régimen y de Arranque.....	56
4.3.2	Prueba de Vacío.....	56
4.3.3	Prueba de Vacío Ideal.....	57
4.3.4	Prueba de Rotor Bloqueado.....	57
4.3.5	Cálculo de los Parámetros.....	58
4.4	Programa de Computación.....	61
V.	CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO.....	73
5.1	Introducción.....	73
5.2	Características de Arranque.....	73
5.2.1	Cálculo del Torque de Arranque.....	73
5.2.2	Oscilograma de las Corrientes.....	77
5.3	Características de Operación.....	79
5.4	Pruebas de Carga.....	86
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
	ANEXOS.....	92
	APENDICE A	
	Factor de Arrollamiento para Devanados Monofásicos	97
	APENDICE B	
	Materiales Conductores.....	99
	APENDICE C	
	Materiales Aislantes.....	101
	BIBLIOGRAFIA.....	103

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo tiene por objeto desarrollar un método teórico, práctico y experimental para la construcción y determinación de las características de funcionamiento de motores de inducción monofásicos con rotor jaula de ardilla, a partir de un núcleo existente.

Algunos proyectos se llevan a cabo construyendo y probando prototipos hasta conseguir las características deseadas, para lo cual los cálculos previos que se realizan deben suministrar una buena aproximación, para reducir en lo posible sucesivos tanteos.

Son muchas las ocasiones en que es necesario llevar un motor a reconstruir, por haberse deteriorado sus devanados, debido a cortocircuitos producidos entre conductores, lo cual hace prácticamente imposible extraer de ellos suficiente información para su reconstrucción. Una situación análoga se produce cuando los motores carecen de la placa de datos del fabricante.

Para este trabajo se ha escogido un motor tipo experimen-

tal, donde se calculan los devanados de régimen y arranque, sus parámetros y las características de funcionamiento.

Para el cálculo de los devanados y de los parámetros se han desarrollado dos programas de computación llamados CALC y PRMT, respectivamente.

Las características de funcionamiento han sido determinadas en el Laboratorio de Maquinarias de la ESPOL, realizando diferentes pruebas recomendadas por normas internacionales (IEEE).

CAPITULO II

MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO

2.1 Introducción

El auge de la mecanización doméstica y comercial de hoy es el resultado del desarrollo y perfeccionamiento del motor monofásico de inducción.

Antiguamente, ese motor era una máquina voluminosa, pesada y llena de inconvenientes, con un factor de potencia bajo y una eficiencia más baja aún; pero en la actualidad compite con el motor polifásico y en ciertos aspectos lo supera, principalmente si la capacidad es pequeña como sucede en las aplicaciones a refrigeradores, lavadoras, batidoras, herramientas de mano, etc.

El principal inconveniente que presentara el motor de inducción monofásico, el cual ha sido superado, era su dificultad de arranque.

Los motores de inducción monofásicos son construidos con el estator devanado con bobinas concéntricas que llenan de $1/2$ a $2/3$ del espacio total de las ranu-

ras, con posibilidades de ser conectadas para dos tensiones de trabajo.

Estos motores, tienen dos devanados monofásicos, el uno llamado de Régimen y el otro de Arranque, cuyas bobinas se encuentran separadas físicamente a 90 grados eléctricos.

Los devanados de régimen y de arranque tienen distintas características, el primero es de baja resistencia y alta reactancia. El segundo, tiene alta resistencia y baja reactancia, en consecuencia se establece una diferencia de fase, entre las corrientes que circulan en cada uno de los devanados.

Cada corriente se retrasa con respecto al voltaje en un ángulo $\text{tg}^{-1} \frac{x}{r}$, que determina un campo giratorio, suficiente para producir el arranque. Fig. (2-1)

El devanado de arranque está provisto de un interruptor centrífugo conectado en serie, que lo desconecta de la línea de fuerza, en cuanto la velocidad es mayor al 75% de lo normal, con el objeto de evitar la destrucción que ocurriría si quedara por mucho tiempo conectado al circuito de alimentación, estando diseñado para operación momentánea.

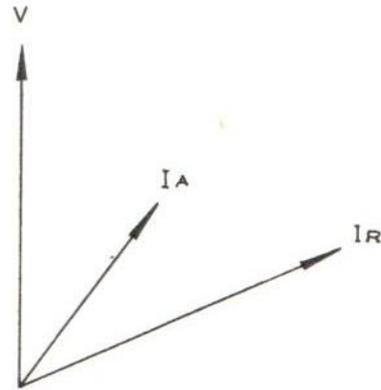


FIGURA N° 2-1: Defasamiento de las Corrientes en los dos Devanados.

2.2 Principio Fundamental

2.2.1 Teoría de Campo Transversal

Cuando el rotor de un motor monofásico está parado, no existe ningún torque de arranque.

En la figura 2-2 podemos ver que el eje del campo A del estator permanece fijo en la dirección del eje de las bobinas A-A'

Por efecto de transformador, en el rotor se inducen corrientes en el sentido tal que la F.M.M. que producen se oponen a la del estator.

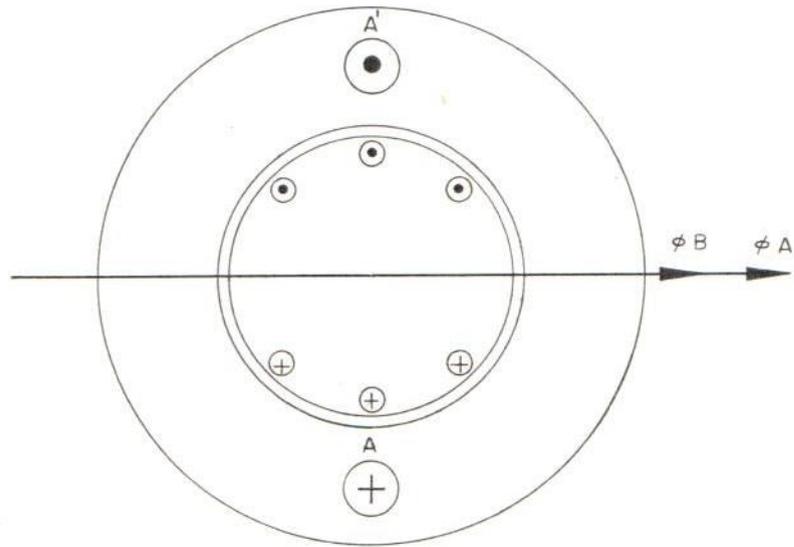


FIGURA 2-2: Rotor Parado

El eje de la onda de F.M.M. del rotor coincide con el eje de la del estator, y por consiguiente el ángulo de torque es nulo. El motor en estas condiciones no es más que un transformador estático con el secundario en cortocircuito.

Cuando se hace girar el rotor existirá en él , además de la tensión transformadora otra tensión inducida debido a su movimiento de rotación en el campo fijo del rotor.

En la figura 2-3 las tensiones inducidas en las

barras del rotor debidas al movimiento de éste, tienen la misma dirección en las barras de lado derecho y de dirección contraria al lado izquierdo.

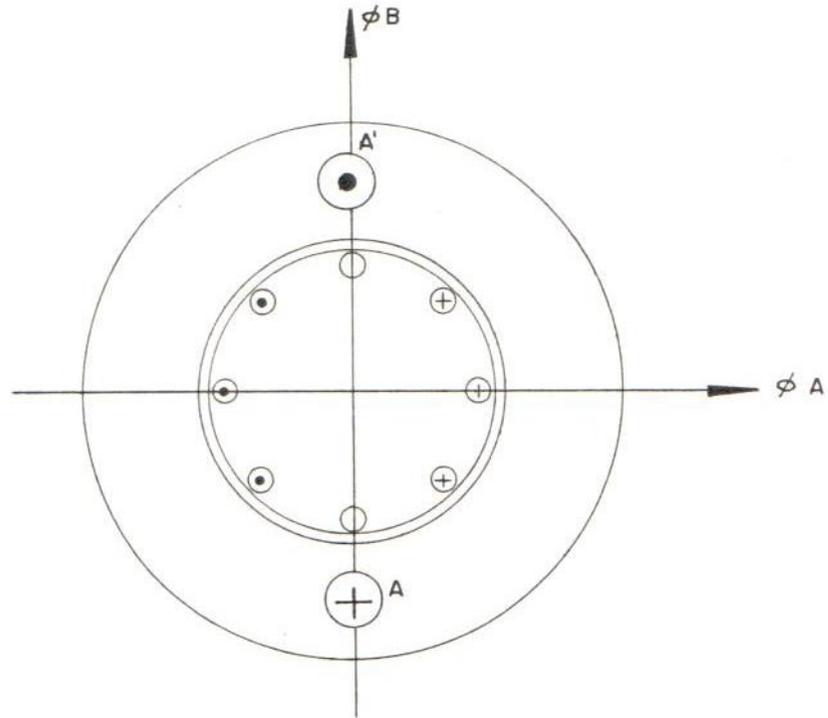


FIGURA 2-3: Rotor Girando

Estas tensiones debidas al movimiento, crean una componente de corriente en el rotor y una componente de la onda de F.M.M. del mismo, cuyo eje está desplazado 90° eléctricos respecto al eje del estator.

En ángulo de torque correspondiente a esta componente de la F.M.M. del rotor es de 90° , con

lo que se produce un torque.

El sentido del torque producido es el mismo que el de movimiento de rotación.

2.2.2 Teoría del Campo Giratorio Doble

Esta teoría, permite la aplicación de los principios del motor de inducción polifásicos a la máquina monofásica.

La F.M.M. alterna en el eje principal (del transformador) producida por el devanado del estator, puede descomponerse en dos (2) F.M.M.S. giratorias, cada una de las cuales tiene la mitad de la amplitud de la F.M.M. alterna y giran en sentido opuesto a lo largo del entrehierro pero a velocidad de sincronismo.

Si el rotor es fijo, puede considerarse sometido simultáneamente al efecto inductivo de los campos debido a estas F.M.M.S. iguales y de movimientos opuestos, por lo que las dos corrientes inducidas en el rotor desarrollarán torques iguales y opuestos.

Pero si al rotor se le da un impulso en cualquier sentido, su deslizamiento con respecto al campo

que gira en el mismo sentido, será menor que la unidad, mientras que al mismo tiempo su deslizamiento con respecto al campo que gira en sentido opuesto, será mayor que la unidad. Así pues, se desarrollarán un torque positivo en el mismo sentido que el impulso inicial y otro torque negativo en sentido opuesto, pero el primero, será mayor que el segundo a causa de la diferencia de deslizamiento.

2.3 Motor con Condensador de Arranque

Con el fin de obtener un aumento considerable del ángulo entre la corriente del devanado de régimen (I_r) y la corriente del devanado de arranque (I_a) se instala un condensador en serie con el devanado de arranque.

Fig. 2-4.

Siendo el torque de arranque mayor, ya que su valor es proporcional al producto de $(I_r)(I_a) \sin \beta$, en donde β es la separación angular entre las dos corrientes.

La tensión en el devanado de arranque, es la diferencia vectorial entre la tensión de línea y la caída en el condensador y está proyectada para estar en cuadratura con la tensión de la línea en condiciones de plena velocidad, lo que hace que la máquina se convierta

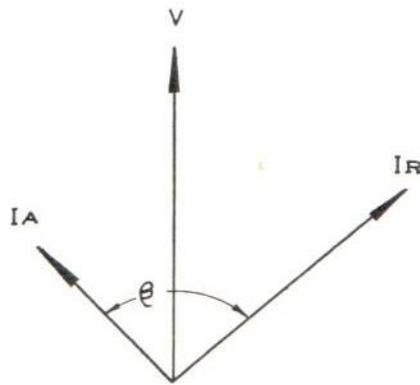


FIGURA 2-4: Defasamiento de las Corrientes con Capacitor en Serie en el Devanado de Arranque

en motor bifásico.

Una vez que el motor ha alcanzado el 75% de la velocidad nominal, un interruptor centrífugo, montado en el rotor, desconecta el capacitor y el devanado de arranque, quedando el motor funcionando solamente con el devanado de régimen.

El condensador utilizado actualmente para propósito de arranque es el electrolítico, que tiene un precio relativamente bajo, especificado para trabajo de corta duración. Este tipo de condensador consiste en dos (2) láminas de aluminio separadas por capas de gases pregadas en una solución electrolítica que forma una película y constituye el dieléctrico del condensador.

C A P I T U L O I I I

CALCULO DE LOS DEVANADOS DE REGIMEN Y DE ARRANQUE

3.1 Introducción

Los devanados de régimen y de arranque, tienen distintas características: el primero es de baja resistencia y alta reactancia; el segundo tiene, baja reactancia y alta resistencia compatible con la intensidad de la corriente auxiliar. Lo cual establece una diferencia de fase entre la corriente principal y auxiliar, que determina un campo elíptico suficiente para producir el arranque.

Para el cálculo de los devanados de régimen y de arranque se consideran los siguientes puntos:

- a. Densidad magnética en los dientes del núcleo del estator.
- b. El flujo magnético o campo requerido para engendrar la tensión de línea.
- c. Número y tamaño de las ranuras del estator.
- d. Número de conductores en serie en el devanado del

estator.

e. Diámetro de los conductores del estator

Expondremos como ejemplo el cálculo de un motor monofásico con arranque capacitivo y que tiene los siguientes datos de placa:

Potencia = 248,4 vatios

Voltaje = 115 V

Frecuencia = 60 ciclos

Velocidad = 1725 RPM

Corriente = 5.6 amperios

Número de Polos = 4

Número de ranuras del estator = 36

Número de ranuras del rotor = 44

Factor de servicio = 1.35

Capacitor = 216 - 240 microfaradios

3.2 Devanado de Régimen

Puesto que el devanado a calcular, lo hacemos a partir de un núcleo de hierro ya existente, muchos datos son conocidos o calculados a partir del mismo.

3.2.1 Densidad de los Dientes del Estator

El área tangencial de los dientes, debe corres-

ponder a las necesidades de flujo y además ha de quedar espacio de ranuras suficiente para alojar los conductores y el aislamiento adecuado.

La máxima densidad de flujo en los dientes, se ha establecido a través de muchos años de experiencia en 1.317 Weber/m^2 para motores fraccionarios con una frecuencia de 60 ciclos.

Valores mayores de densidad de flujo producen grandes pérdidas en el hierro y requieren gran cantidad de amperes-vueltas en el devanado del estator.

Con valores menores de densidad en los dientes, resulta antieconómico en cuanto al uso del material magnético, el cual es muy costoso, por ser acero de buena calidad.

3.2.2 Flujo Total por Polo

Debido a que el flujo no es uniforme, se tiene que el flujo total por polo es igual a $0,637$ multiplicado por el área de los dientes del estator y por la densidad del flujo de los dientes (8)

$$\phi = 0.637 \times A_d \times B_d$$

el área de los dientes del estator es (8)

$$A_d = \frac{F_1 L S_1 T}{P}$$

Donde:

F_1 = factor aislador

L = longitud axial del núcleo del estator

S_1 = Número de ranura del estator

T = anchura de los dientes

P = número de polos

Siendo:

$$A_d = \frac{0.93 \times 0.0425 \times 36 \times 0.045}{4}$$

$$A_d = 0.0016\text{m}^2$$

Luego tenemos que:

$$\phi = 0.637 \times 0.0016 \times 1.317$$

$$\phi = 0.001342 \text{ Weber}$$

3.2.3 Número Total de Conductores

El flujo magnético que circule por el núcleo dependerá del número de conductores en serie que tengan los devanados del estator.

El flujo por polo es (8)

$$\phi = \frac{E}{2.22fZkw}$$

Donde:

E = Fuerza electromotriz inducida

f = Frecuencia

Z = Número total de conductores

kw = Factor de arrollamiento

De la ecuación de flujo tendremos:

$$Zkw = \frac{E}{2.22f\phi}$$

$$Zkw = \frac{115}{2.22 \times 60 \times 0.001342}$$

$$Zkw = 643$$

El factor de arrollamiento se lo determina de acuerdo al acomodamiento de las bobinas en las ranuras, para este caso escogemos de la Tabla I, la distribución N° 9.

En el Apéndice A se explica como fueron calculados para diferentes distribuciones el factor de arrollamiento.

El número total de conductores en serie es:

$$Z = \frac{643}{kw}$$

$$Z = \frac{643}{0.818}$$

$$Z = 785.93$$

3.2.4 Conductores por Ranuras

En los motores monofásicos, las ranuras se reparten entre el devanado de régimen y el de arranque, con el fin de mejorar la forma de onda y en varios aspectos las características de funcionamiento.

El número de conductores por ranura de uno y otro devanado suele variar de ranura en ranura.

El número de conductores por ranura es: (8)

$$Z_n = \frac{Z}{N_s \times P}$$

Donde:

Z = número total de conductores en serie

N_s = número total de lados de bobinas por polo

P = número de polos

De la distribución N° 9 se tiene que N_s es igual a 12

$$Z_n = \frac{786}{12 \times 4}$$

$$Z_n = 16$$

El número máximo de conductores en la ranura es:

$$Z_{n_{\text{máx}}} = 2 \times Z_n$$

$$Z_{n_{\text{máx}}} = 32$$

Cuando el lado de bobina es 1, la ranura tiene 16 conductores y si es 2, la ranura tiene 32 conductores.

3.2.5 Diámetro del Conductor

Para calcular el diámetro del conductor de régimen se determina el área de la ranura, para ello será necesario tener una idea del espacio ocupado por el aislamiento.

El diámetro del conductor es: (8)

$$d^2 = \frac{A_1 \times F_c}{Z_{n_{\text{máx}}}}$$

Donde:

A_1 = Área neta de los devanados de régimen y arranque.

F_c = Factor de capacidad de la ranura

El área neta de los devanados de régimen y arranque es:

$$A_1 = A_t - A_a - A_s - A_c$$

A_t = Area total de la ranura

A_a = Area de la capa aisladora de la ranura

A_s = Area del separador de los devanados

A_c = Area de la cuña

En la figura (3-1) se indican las dimensiones de la ranura con sus respectivos valores:

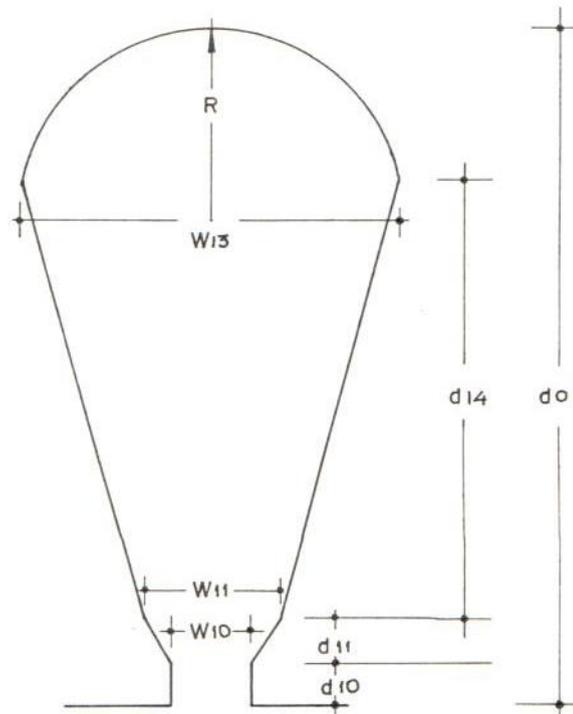


FIGURA 3-1: Dimensiones de las Ranuras del Estator.

$$d_o = 0,021 \text{ m}$$

$$d_{10} = 0,001 \text{ m}$$

$$d_{11} = 0,001 \text{ m}$$

$$d_{14} = 0,016 \text{ m}$$

$$W_{10} = 0,0025 \text{ m}$$

$$W_{11} = 0,004 \text{ m}$$

$$W_{13} = 0,006 \text{ m}$$

$$R = 0,003 \text{ m}$$

La fórmula para calcular el área total de la ranura es: (8)

$$A_t = \frac{d_{11} (W_{10} + W_{11}) + d_{14} (W_{11} + W_{13}) + \pi R^2}{2}$$

Reemplazando valores tenemos que:

$$A_t = 0.00009339\text{m}^2$$

El área de la capa aisladora es (8)

$$A_a = ECA(W_{11} + W_{10} + W_{13} \times 2 \times d_{14})$$

$$ECA = \text{Espesor de la capa aisladora} = 0.00045 \text{ m}$$

$$A_a = 0.00045 (0.004 + 0.0025 + 0.006 \times 2 \times 0.016)$$

$$A_a = 0.00000301\text{m}^2$$

El área del separador de los devanados es (8)

$$A_S = 0.5 \times ECA(W_{11} + W_{13})$$

$$A_S = 0.5 \times 0.00045 (0.004 + 0.006)$$

$$A_S = 0.00000225m^2$$

El área de la cuña es (8)

$$A_C = ECA(W_{11})$$

$$A_C = 0.00045 (0.004)$$

$$A_C = 0.0000018m^2$$

el área neta de los devanados de régimen y de arranque

$$A_1 = 0.00009339 - 0.000003 - 0.00000225 - 0.0000018$$

$$A_1 = 0.00008633m^2$$

Luego tenemos que:

$$d^2 = \frac{0.00008633 \times 0.55}{32}$$

$$d^2 = 0.000001483m^2$$

$$d = 0.00121m$$

$$d = 1.21 \text{ mm}$$

Para un diámetro de 1.21 mm se escoge de la tabla II el conductor de hilo N° 17

3.3 Devanado de Arranque

La mayor dificultad que presenta el motor monofásico es su arranque, para lo cual se le aumenta un segundo

devanado llamado de arranque. Este devanado se lo calcula de la siguiente manera:

3.3.1 Número total de conductores

El número total de conductores del devanado de arranque se lo determina a partir del número de conductores del devanado de régimen, utilizando la siguiente fórmula: (4)

$$a = \frac{Z_{kwa}}{Z_{kw}}$$

a = a la relación entre el devanado de arranque y el de régimen, a través de muchos años de experiencia se la ha dado un valor entre 1 a 1,3. Para nuestro cálculo escogemos a = 1.15

De donde tenemos que:

$$Z_{kwa} = Z_{kw} (1.15)$$

$$Z_{kwa} = (643) (1.15)$$

$$Z_{kwa} = 739.8$$

kwa es el factor de arrollamiento que en la tabla I tomamos la distribución N° 14 tiene un valor de 0.86889

Reemplazando:

$$Z_a = \frac{739.8}{0.86889}$$

$$Z_a = 851.47$$

3.3.2 Conductores por Ranuras

Para determinar el número de conductores por ranurar se usa la siguiente fórmula:

$$Z_{na} = \frac{Z_a}{N_{sa} \times P}$$

$$Z_{na} = \frac{851}{10 \times 4}$$

$$Z_{na} = 21$$

De acuerdo a la distribución N° 14 si el número de lado de bobina es 1 la ranura tiene 21 conductores y si es 2 tendrá 42 conductores.

3.3.3 Diámetro del Conductor

El diámetro del conductor de arranque se lo calcula aplicando la siguiente fórmula (8)

$$Z_{na_{m\acute{a}x}} = D_a^2 = A_1 - A_r$$

A_1 = Area neta de devanado de régimen y de arranque.

A_r = Area de devanado de régimen

$Z_{na_{m\acute{a}x}}$ = Número máximo de conductores en las ranuras.

D_a = Diámetro de conductor de arranque

El área del devanado de régimen es igual a

$A_1 \times 0.65$, de donde:

$$A_R = 0.00008633 \times 0.65$$

$$A_R = 0.000056$$

Luego, tenemos que:

$$Z_{na_{m\acute{a}x}} D_a^2 = 0.00008633 - 0.000056$$

$$Z_{na_{m\acute{a}x}} D_a^2 = 0.0000303$$

Despejando:

$$D_a^2 = \frac{0.0000303}{42}$$

$$D_a^2 = 0.000000721 \text{m}^2$$

$$D_a = 0.000084 \text{ m}$$

$$D_a = 0.84 \text{ mm}$$

Para un diámetro de 0.84 mm se escoge de la tabla II el conductor de hilo N° 20.

3.4 Devanados de Régimen y Arranque

El devanado de régimen está formado por cuatro bobinas por grupo, teniendo las bobinas de los extremos e interior 16 vueltas y las bobinas del centro 32 vueltas del conductor N° 17.

El devanado de arranque tiene 3 bobinas por grupo,

las bobinas exteriores y centrales están formadas de 42 vueltas y la bobina interior de 21 vueltas de conductor N° 20.

Las bobinas de los dos devanados son ubicadas en las ranuras del estator, encuadratura. Fig. 3-2

3.4.1 Peso de los Devanados de Régimen y de Arranque

Para determinar el peso de los devanados de régimen y de arranque se usa la siguiente fórmula: (8)

$$W = LMC \times Z \times \frac{W_{km}}{1000}$$

W = peso total del devanado

LMC = longitud de la mitad de la bobina media.

Z = número total de conductores

W_{km} = peso del conductor por kg/m

3.4.1.1 Peso del Devanado del Régimen

El peso del devanado de régimen es igual (8)

$$WR = LMC \times Z \frac{W_{km}}{1000}$$

$$LMC = L + \left(\frac{\pi D_e R_0}{S_1} \right) ACT$$

— DEVANADO DE ARRANQUE
 — DEVANADO DE RÉGIMEN

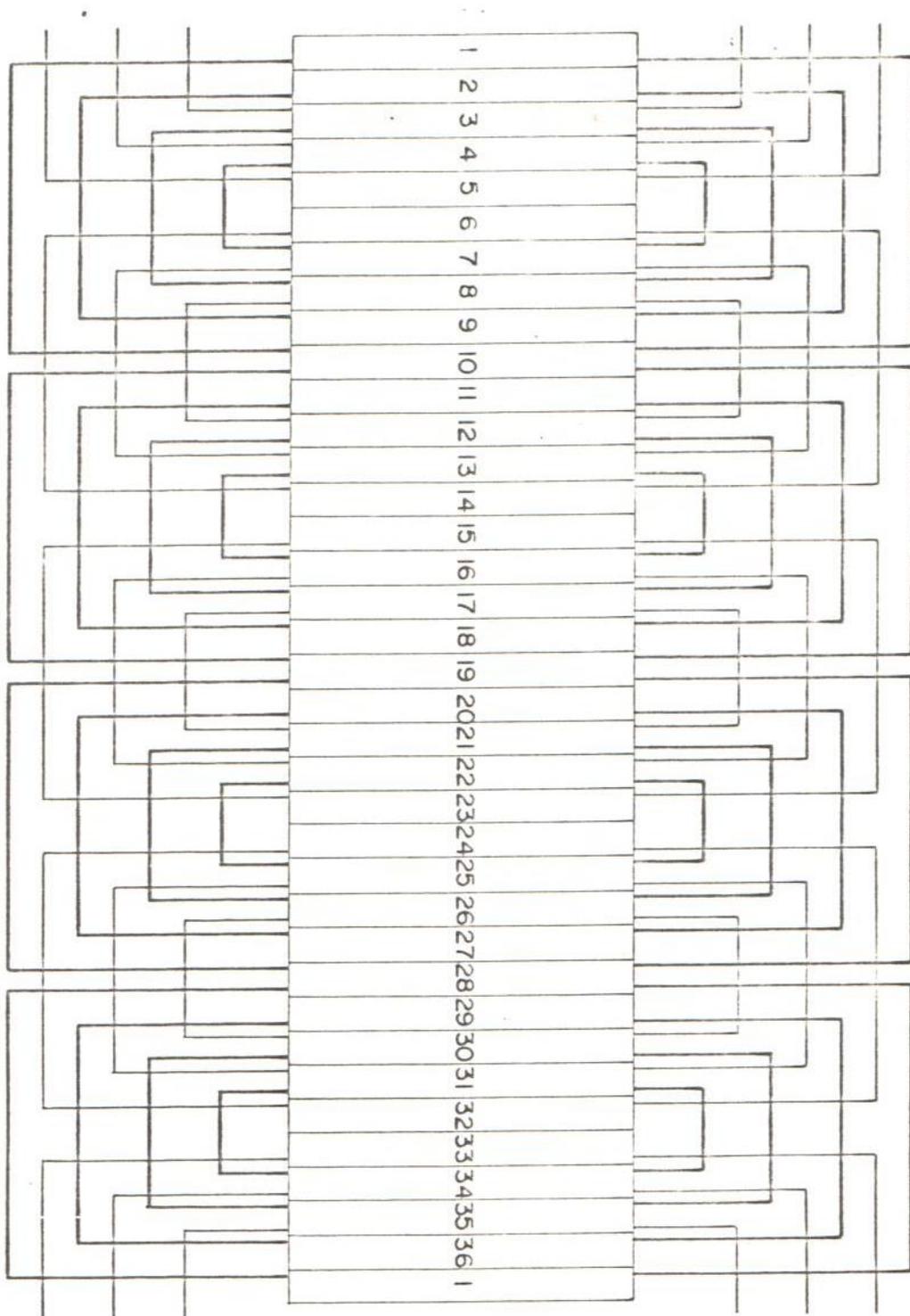


FIGURA 3.2

Devanados de Régimen y de Arranque en Cuadratura

L = Longitud Axial del núcleo del estator.

De = Diámetro medio del estator

ACT = Paso de Bobina Promedio del devanado de Régimen.

Ro = Constante empírica cuyo valor es 1.5 para motores de 4 polos.

S₁ = número de ranuras del estator

Luego:

$$De = D1 + d0 + d10 + d11$$

D1 = Diámetro interior del estator

$$De = 0.094 + 0.021 + 0.001 + 0.001$$

$$De = 0.117 \text{ m}$$

$$ACT = \frac{N_{S1}T_1 + N_{S2}T_2 + N_{S3}T_3 + N_{S4}T_4}{N_{S1} + N_{S2} + N_{S3} + N_{S4}}$$

N_{S1}; N_{S2}; N_{S3}; N_{S4} = Número de lado de bobinas

T_{S1}; T_{S2}; T_{S3}; T_{S4} = Paso de bobina

$$ACT = \frac{1 \times 9 + 2 \times 7 + 2 \times 5 + 1 \times 3}{1 + 2 + 2 + 1}$$

$$ACT = 6$$

Reemplazando valores, tenemos que:

$$LMC = 0.0425 + \left(\frac{3.1416 \times 0.117 \times 1.5}{36} \right) 6$$

$$LMC = 0.0425 + 0.0918$$

$$LMC = 0.134 \text{ m}$$

Siendo:

$$W_r = 0.134 \times 754 \times \frac{9.23}{1000}$$

$$W_r = 0.969 \text{ kg.}$$

3.4.1.2 Peso del Devanado de Arranque

El peso del devanado de arranque es igual a

$$W_a = LMC \times Z_a \times \frac{W_{km}}{1000}$$

$$LMC_a = L + \left(\frac{\pi \times D_e \times R_o}{S_1} \right) ACT_a$$

$$ACT_a = \frac{N_{Sa1} T_{a2} + N_{Sa2} T_{a2} + N_{Sa3} T_{a3}}{N_{Sa1} + N_{Sa2} + N_{Sa3}}$$

$$ACT_a = \frac{2 \times 8 + 2 \times 6 + 1 \times 4}{2 + 2 + 1}$$

$$ACT_a = 6.4$$

Luego:

$$LMC_a = 0.0425 + \left(\frac{3.1416 \times 0.117 \times 1.5}{36} \right) 6.4$$

$$LMC_a = 0.0425 + 0.098$$

$$LMCa = 0.1405 \text{ m}$$

Siendo

$$Wa = 0.1405 \times 851 \times \frac{4.6}{1000}$$

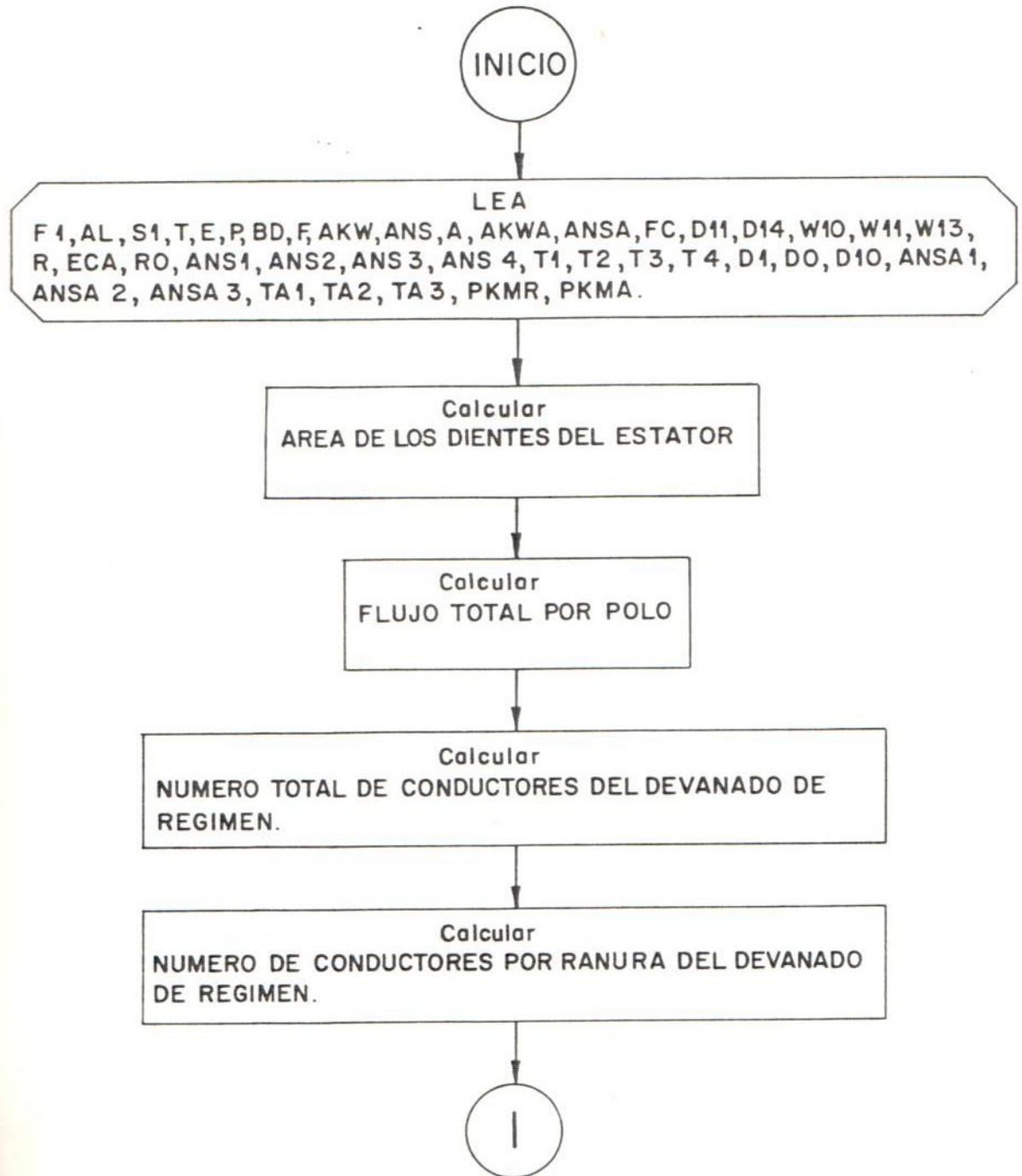
$$Wa = 0.55 \text{ Kg}$$

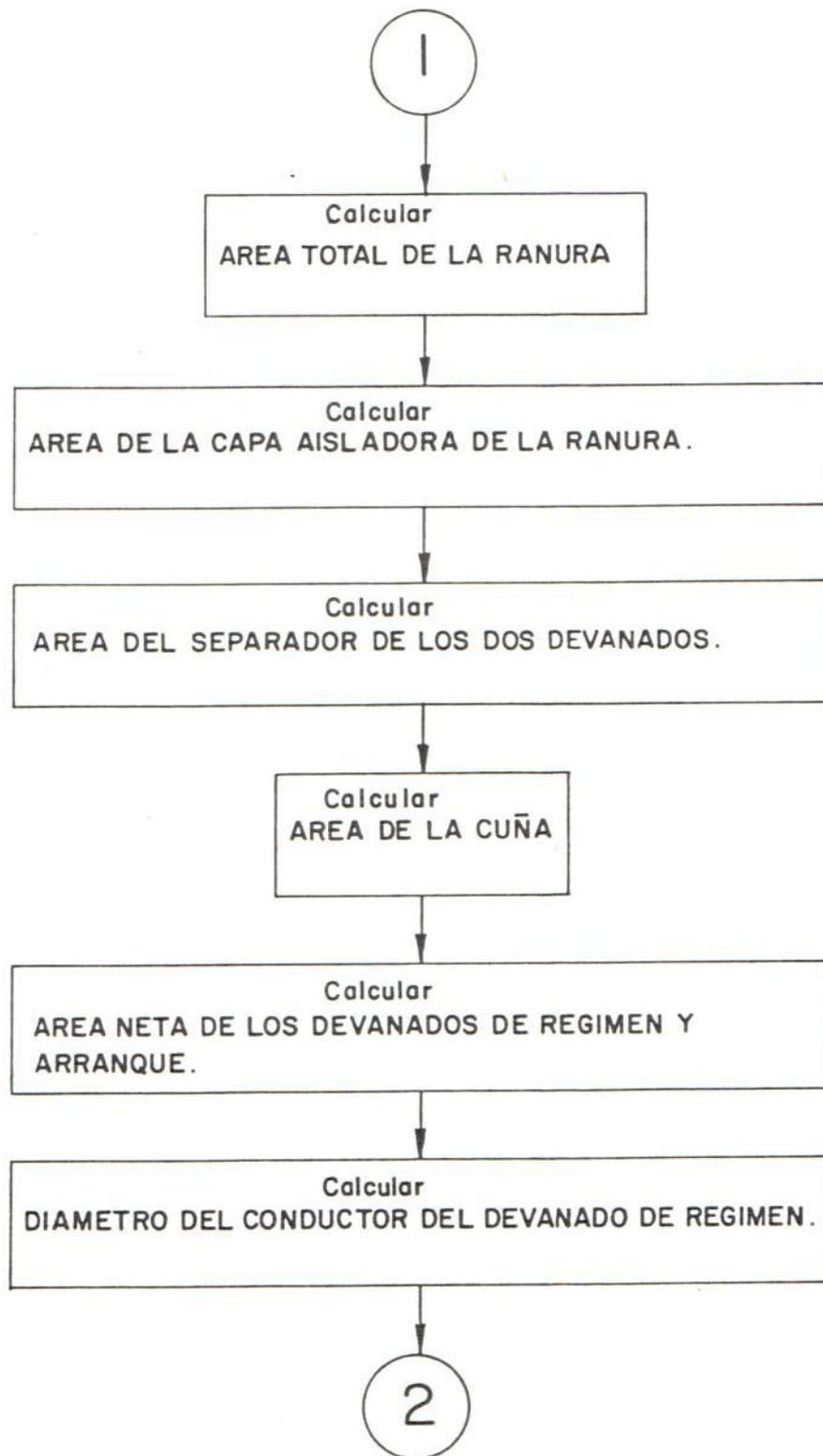
3.5 Programa de Computación

Para el cálculo de los devanados se ha desarrollado un programa de computación llamado CALC.

El lenguaje que se usó es FOTMAN IV, en un computador IBM34, siendo el diagrama de flujo:

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CALCULO DE LOS DEVANADOS





2

Calcular
NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES DE ARRANQUE

Calcular
NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA DEL DEVANADO DE ARRANQUE.

Calcular
AREA DEL DEVANADO DE REGIMEN

Calcular
DIAMETRO DEL CONDUCTOR DEL DEVANADO DE ARRANQUE.

Calcular
PASO DE BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE REGIMEN.

Calcular
PASO DE BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE ARRANQUE

3

3

Calcular
LONGITUD MEDIA DE LA MITAD DE LA BOBINA DEL DEVA-
NADO DE REGIMEN

Calcular
LONGITUD MEDIA DE LA MITAD DE LA BOBINA DEL DEVA-
NADO DE ARRANQUE

Calcular
PESO TOTAL DEL DEVANADO DE REGIMEN

Calcular
PESO TOTAL DEL DEVANADO DE ARRANQUE

IMPRIMIR RESULTADOS

FIN

T071 MEMBER DATE 01/11/19 TIME 23.10

TYPE	NAME	DISK ADDR	TOTAL	NUM TEXT/RECORD	ATTRIBUTES	LINK ADDR/NUM	STMT	RLD
------	------	-----------	-------	-----------------	------------	---------------	------	-----

S	CALC	200370/032622	23/0017	96/60	00000000	143/008F		
---	------	---------------	---------	-------	----------	----------	--	--

?? IBM SYSTEM/34 FURTRAN IV RELEASE 07 31/11/04 22:14

?? 000 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION

??

??

?? 0128 DECIMAL IS THE MAIN STORAGE SIZE OF THE LOAD MEMBER

// READ DEVICE=SYSIN

*PROCESS LINK(R,LIB(T071)),NOSOURCE

PROGRAM CALC

C PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LOS DEVANADOS DE REGIMEN Y DE ARRANQUE

C DE UN MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO

C

DATA LR,Lw/4,3/

C F1=FACTOR AISLADOR

C AL=LONGITUD AXIAL DEL NUCLEO DEL ESTATOR

C S1=NUMERO DE RANURAS DEL ESTATOR

C T=ANCHURA DEL DIENTE

C E=TENSION INDUCIDA

C P=NUMERO DE POLOS

C B0=DENSIDAD DE LOS DIENTES DEL ESTATOR

C F=FRECUENCIA

C AKW=FACTOR DE ARROLLAMIENTO DEL DEVANADO DE REGIMEN

C ANS=NUMERO TOTAL DE LADO DE BOBINA DEL DEVANADO DE REGIMEN POR POLO

C A=RELACION ENTRE LOS DEVANADOS DE ARRANQUE Y REGIMEN

C AKWA=FACTOR DE ARROLLAMIENTO DEL DEVANADO DE ARRANQUE

C ANSA=NUMERO TOTAL DE LADO DE BOBINA DEL DEVANADO DE ARRANQUE POR POLO

C FC=PORSENTAJE DE CAPACIDAD DE LAS RANURAS

C D11=PROFUNDIDAD DE LA BOCA DE LAS RANURAS

C D14=PROFUNDIDAD MEDIA DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C W10=ABERTURA DE LA BOCA DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C W11=ANCHO DE LA PARTE SUPERIOR DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C W13=ANCHO DE LA PARTE INTERIOR DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C R=RADIO DEL FONDO DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C ECA=ESPESOR DE LA CAPA AISLADORA
 C RO=CONSTANTE EMPIRICA PARA MOTORES DE CUATRO POLOS
 C ANS1,ANS2,ANS3,ANS4=LADOS DE BOBINA POR RANURA DEL DEVANADO DE REGIMEN

 C T1,T2,T3,T4=PASO DE BOBINA DEL DEVANADO DE REGIMEN
 C ANSA1,ANSA2,ANSA3=LADOS DE BOBINA POR RANURA DEL DEVANADO DE ARRANQUE

 C TA1,TA2,TA3=PASO DE BOBINA DEL DEVANADO DE ARRANQUE
 C D1=DIAMETRO INTERIOR DEL ESTATOR
 C D0=LONGITUD DE LAS RANURAS
 C D10=PROFUNDIDAD DE LA ENTRADA DE LAS RANURAS
 C PKMR=PESO EN KILOGRAMO POR METRO DEL DEVANADO DE REGIMEN
 C PKMA=PESO EN KILOGRAMO POR METRO DEL DEVANADO DE ARRANQUE

 C
 C READ(LR,5)F1,AL,S1,T,L,P,BD,F,AKW,ANS,A,AKWA,ANSA
 C READ(LR,5)FC,D11,D14,W10,W11,W13,K,ECA,RO
 C READ(LR,5)ANS1,ANS2,ANS3,ANS4,T1,T2,T3,T4,D1,D0,D10
 C READ(LR,5)ANSA1,ANSA2,ANSA3,TA1,TA2,TA3,PKMR,PKMA
 5 FORMAT(8F10.5)
 C AREA DE LOS DIENTES DEL ESTATOR
 C $AD=F1*AL*S1*T/P$
 C FLUJO TOTAL POR POLO
 C $FLUJO=0.637*AD*BD$
 C NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES
 C $ZKW=E/(2.22*F*FLUJO)$
 C $Z=E/(2.22*F*FLUJO*AKW)$
 C CONDUCTORES POR RANURAS
 C $ZN=Z/(ANS*P)$
 C $ZNMAX=2.0*ZN$
 C AREA TOTAL DE LA RANURA
 C $AT=(D11*(W10-W11)+D14*(W11+W13)+3.1416*R**2)/2.0$
 C AREA DE LA CAPA AISLADORA DE LA RANURA
 C $AA=ECA*(W11+W10+W13*2.0*D14)$
 C AREA DEL SEPARADOR DE LOS DOS DEVANADOS
 C $AS=0.5*ECA*(W11+W13)$
 C AREA DE LA CUNA
 C $AC=ECA*W11$
 C AREA NETA DE LOS DEVANADOS DE REGIMEN I DE ARRANQUE
 C $A1=AT-AA-AS-AC$
 C DIAMETRO DEL CONDUCTOR DE REGIMEN

```
DEBORT=(AL*FC/ZNMAX)
C
NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE ARRANQUE
ZKWA=ZKW*A
ZA=ZKWA/AKWA
C
CONDUCTORES POR RANURAS DEL DEVANADO DE ARRANQUE
ZNA=ZA/(ANSA*P)
C
AREA DEL DEVANADO DE REGIMEN
AR=A1*0.65
ZNAMAX=2.0*ZNA
C
DIAMETRO DEL CONDUCTOR DE ARRANQUE
DA=SQRT((A1-AR)/ZNAMAX)
C
PASO DE BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE REGIMEN
ACT=(ANS1*T1+ANS2*T2+ANS3*T3+ANS4*T4)/(ANS1+ANS2+ANS3+ANS4)
C
PASO DE BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE ARRANQUE
ACTA=(ANSA1*TA1+ANSA2*TA2+ANSA3*TA3)/(ANSA1+ANSA2+ANSA3)
C
DIAMETRO MEDIO DEL ESTATOR
DE=D1+D0+D10+D11
C
LONGITUD DE LA MITAD DE LA BOBINA MEDIA DEL DEVANADO DE REGIMEN
ALMC=AL+((3.1416*DE*R0)/S1)*ACT
C
LONGITUD DE LA MITAD DE LA BOBINA MEDIA DEL DEVANADO DE ARRANQUE
ALMCA=AL+((3.1416*DE*R0)/S1)*ACTA
C
PESO DEL DEVANADO DE REGIMEN
WR=ALMC*Z*PKMR/1000.0
C
PESO DEL DEVANADO DE ARRANQUE
WA=ALMCA*ZA*PKMA/1000.0
WRITE(LW,10)
10 FORMAT(1H1///30X,'ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL'//30X,
1'Resultado de los calculos de los devanados de regimen y de arran
2que')
WRITE(LW,20)AD,FLUJO,ZKW,Z,ZN,ZNMAX
20 FORMAT(/20X,F12.8,' = AREA DE LOS DIENTES DEL ESTATOR'/20X,F12.8,
1' = FLUJO TOTAL POR POLO'/20X,F12.8,' = NUMERO EFECTIVO DE CONDU
2CTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN'/20X,F12.8,' = NUMERO TOTAL DE CONDU
3CTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN'/20X,F12.8,' = NUMERO DE CONDUCTO
4RES EN SERIE POR RANURA DEL DEVANADO DE REGIMEN'/20X,F12.8,' = NU
5MERO MAXIMO DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN EN LAS RANURAS
6')
WRITE(LW,25)AT,AA,AS,AC,A1,AR
25 FORMAT(/20X,F12.8,' = AREA TOTAL DE LA RANURA'/20X,F12.8,' = AREA
1DE LA CAPA AISLADORA DE LA RANURA'/20X,F12.8,' = AREA DEL SEPARA
```

AREA DE LOS DOS DEVANADOS*/20X,F12.8,' = AREA DE LA CUNA*/20X,F12.8
3,' = AREA NETA DE LOS DEVANADOS DE REGIMEN Y DE ARRANQUE*/20X,F12.
48,' = AREA DEL DEVANADO DE REGIMEN')

WRITE(LW,30)ZKNA,ZA,ZNA,ZNAMAX

30 FORMAT(/20X,F12.8,' = NUMERO EFECTIVO DE CONDUCTORES DEL DEVANADO
1 DE ARRANQUE*/20X,F12.8,' = NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES DEL DEVANA
200 DE ARRANQUE*/20X,F12.8,' = NUMERO DE CONDUCTORES EN SERIE POR
3RANURA DEL DEVANADO DE ARRANQUE*/20X,F12.8,' = NUMERO MAXIMO DE
4CONDUCTORES DEL DEVANADO DE ARRANQUE EN LA RANURA')

WRITE(LW,35)D,DA,DE,ACT,ACTA,ALMC,ALMCA,WR,WA

35 FORMAT(/20X,F12.8,' = DIAMETRO DEL CONDUCTOR DEL DEVANADO DE
1REGIMEN*/20X,F12.8,' = DIAMETRO DEL CONDUCTOR DEL DEVANADO DE ARR
2AQUE*/20X,F12.8,' = DIAMETRO MEDIO DEL ESTATOR*/20X,F12.8,' = PASO
3DE BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE REGIMEN*/20X,F12.8,' = PASO DE
4BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE ARRANQUE*/20X,F12.8,' = LONGITUD D
5E LA MITAD DE LA BOBINA MEDIA DEL DEVANADO DE REGIMEN */20X,F12.8,
6' = LONGITUD DE LA MITAD DE LA BOBINA MEDIA DEL DEVANADO DE ARRANQ
7UE*/20X,F12.8,' = PESO TOTAL DEL DEVANADO DE REGIMEN*/20X,F12.8,'
8= PESO TOTAL DEL DEVANADO DE ARRANQUE')

STOP

?? END

??SYS-3130 1 CALC MODULE'S MAIN STORAGE SIZE IS
?? 8128 DECIMAL
??SYS-3131 1 0000 IS THE START CONTROL ADDRESS OF THIS MODULE
??SYS-3134 1 CALC MODULE IS CATALOGED AS A LOAD MEMBER
?? T871 IS THE LIBRARY NAME
?? 35 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

RESULTADO DE LOS CALCULOS DE LOS DEVANADOS DE REGIMEN Y DE ARRANQUE

0.00160076 = AREA DE LOS DIENTES DEL ESTATOR
 0.00134293 = FLUJO TOTAL POR POLO
 642.69721680 = NUMERO EFECTIVO DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN
 785.93793828 = NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN
 16.37370300 = NUMERO DE CONDUCTORES EN SERIE POR RANURA DEL DEVANADO DE
 32.74740601 = NUMERO MAXIMO DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN EN LAS

 0.00009359 = AREA TOTAL DE LA RANURA
 0.00000301 = AREA DE LA CAPA AISLADORA DE LA RANURA
 0.00000225 = AREA DEL SEPARADOR DE LOS DOS DEVANADOS
 0.00000180 = AREA DE LA CUNA
 0.00006633 = AREA NETA DE LOS DEVANADOS DE REGIMEN Y DE ARRANQUE
 0.00005611 = AREA DEL DEVANADO DE REGIMEN

 739.33154297 = NUMERO EFECTIVO DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE ARRANQUE
 851.76440430 = NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE ARRANQUE
 21.29409790 = NUMERO DE CONDUCTORES EN SERIE POR RANURA DEL DEVANADO DE A
 42.58819580 = NUMERO MAXIMO DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE ARRANQUE EN L

 0.00130900 = DIAMETRO DEL CONDUCTOR DEL DEVANADO DE REGIMEN
 0.00034229 = DIAMETRO DEL CONDUCTOR DEL DEVANADO DE ARRANQUE
 0.11699992 = DIAMETRO MEDIO DEL ESTATOR
 6.00000000 = PASO DE BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE REGIMEN
 6.39999962 = PASO DE BOBINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE ARRANQUE
 0.13439161 = LONGITUD DE LA MITAD DE LA BOBINA MEDIA DEL DEVANADO DE REGI
 0.14051771 = LONGITUD DE LA MITAD DE LA BOBINA MEDIA DEL DEVANADO DE ARRA
 0.97490424 = PESO TOTAL DEL DEVANADO DE REGIMEN
 0.55056465 = PESO TOTAL DEL DEVANADO DE ARRANQUE

TABLA I

FACTOR DE ARROLLAMIENTO DE LOS
DISTINTOS DEVANADOS MONOFASICOS

Ranuras por polo	Nº DE DIS- TRIBUCION	KW	Ranura n.													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
4	1	0,8356	(1)	(1)	(o)	(1)	(1)									
	2	0,8047	(1)	(2)	(o)	(2)	(1)									
	3	1,0000	(1)	(o)	(o)	(o)	(1)									
6	4	0,9659	(1)	(o)	(o)	(o)	(o)	(1)								
	5	0,8365	(1)	(1)	(o)	(o)	(1)	(1)								
	6	0,6440	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)								
	7	0,8080	(1)	(2)	(1)	(o)	(1)	(2)	(1)							
	8	0,7887	(1)	(1)	(1)	(o)	(1)	(1)	(1)							
9	9	0.8186	(1)	(2)	(2)	(1)	(o)	(o)	(1)	(2)	(2)	(1)				
	10	0.8823	(1)	(2)	(2)	(o)	(o)	(o)	(o)	(2)	(2)	(1)				
	11	0.9114	(1)	(2)	(1)	(o)	(o)	(o)	(o)	(1)	(2)	(1)				
	12	0.9254	(1)	(1)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(1)	(1)					
	13	0.9373	(3)	(2)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(2)	(2)					
	14	0.8689	(2)	(2)	(1)	(o)	(o)	(o)	(1)	(2)	(2)					
	15	0.8312	(1)	(1)	(1)	(o)	(o)	(o)	(1)	(1)	(1)					
	16	0.8557	(3)	(3)	(2)	(o)	(o)	(o)	(2)	(3)	(3)					
	17	0.8581	(8)	(8)	(5)	(o)	(o)	(o)	(5)	(8)	(8)					
12	18	0.9250	(2)	(1)	(1)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(1)	(1)	(2)		
	19	0.8721	(2)	(2)	(1)	(1)	(o)	(o)	(o)	(o)	(1)	(1)	(2)	(2)		
	20	0.8294	(1)	(1)	(1)	(1)	(o)	(o)	(o)	(o)	(1)	(1)	(1)	(1)		
	21	0.7400	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(o)	(o)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)		
	22	0.7763	(3)	(3)	(2)	(2)	(2)	(o)	(o)	(2)	(2)	(2)	(3)	(3)		
	23	0.8387	(1)	(2)	(2)	(1)	(1)	(o)	(o)	(o)	(1)	(1)	(2)	(2)	(1)	
	24	0.9010	(1)	(2)	(1)	(1)	(o)	(o)	(o)	(o)	(o)	(1)	(1)	(2)	(1)	
	25	0.8223	(1)	(2)	(2)	(2)	(1)	(o)	(o)	(o)	(1)	(2)	(2)	(2)	(1)	
	26	0.9495	(1)	(2)	(1)	(o)	(1)	(2)	(1)							

TABLA II

CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES DE COBRE

N° escala Americana* B.S. O A.W.G	DIAMETRO		SECCION		P E S O		RESISTENC., OHMIOS	
	Plg.	mm.	Circular - mils	mm ²	Libras por 1000 pies	Kilogra- mos por m.	Por 1000 pies a 68°F (20°C)	Por Km. a 20°C
0000	0,4600	11,68	211.600	107,20	640,5	953,18	0,0499	0,164
000	0,4096	10,38	167.800	85,00	507,9	755,86	0,0618	0,203
00	0,3648	9,36	133.100	67,42	402,8	599,45	0,0779	0,256
0	0,3249	8,25	105.500	53,48	319,5	475,48	0,0982	0,322
1	0,2893	7,34	83.694	42,40	253,3	376,96	0,124	0,407
2	0,2576	6,54	66.370	33,62	200,9	297,67	0,156	0,512
3	0,2294	5,82	52.630	26,66	159,3	237,07	0,197	0,646
4	0,2043	5,18	41.740	21,15	126,4	188,10	0,248	0,814
5	0,1819	4,61	33.100	16,57	100,2	149,12	0,313	1,029
6	0,1620	4,11	26.250	13,29	79,46	118,25	0,395	1,296
7	0,1443	3,66	20.820	10,51	63,02	93,79	0,498	1,634
8	0,1285	3,26	16.510	8,32	49,98	74,38	0,628	2,060
9	0,1144	2,91	13.090	6,64	36,63	54,51	0,792	2,598
10	0,1019	2,59	10.380	5,29	31,43	46,77	0,998	3,274
11	0,09074	2,30	8.230	4,19	24,92	37,09	1,260	4,134
12	0,08081	2,05	6.530	3,29	19,77	29,42	1,588	5,209
13	0,07196	1,82	5.170	2,63	15,68	23,33	2,003	6,572
14	0,06408	1,62	4.107	2,08	12,43	18,50	2,525	8,284
15	0,05707	1,41	3.257	1,68	9,858	14,68	3,184	10,446
16	0,05082	1,29	2.583	1,29	7,818	11,78	4,016	13,176
17	0,04526	1,14	2.048	1,03	6,200	9,23	5,064	16,614
18	0,04030	1,02	1.624	0,85	4,917	7,32	6,385	20,948
19	0,03589	0,90	1.288	0,65	3,899	5,80	8,051	26,414
20	0,03196	0,81	1.022	0,52	3,092	4,60	10,150	33,201
21	0,02846	0,72	810,1	0,41	2,452	3,649	12,80	42,00
22	0,02535	0,64	642,4	0,33	1,945	2,895	16,14	52,95
23	0,02257	0,57	509,5	0,26	1,542	2,295	20,36	66,80
24	0,02010	0,51	404,0	0,20	1,223	1,820	25,67	84,22
25	0,01790	0,45	320,4	0,16	0,9699	1,443	32,37	106,20
26	0,01594	0,41	254,1	0,13	0,7692	1,145	40,81	133,89
27	0,01420	0,36	201,5	0,10	0,6100	0,909	51,47	168,87
28	0,01264	0,32	159,8	0,08	0,4837	0,720	64,90	212,93
29	0,01126	0,29	126,7	0,06	0,3836	0,571	81,83	268,47
30	0,01003	0,26	100,5	0,05	0,3042	0,453	103,20	338,59

* A.W.G. = American Wire Gauge o B.S. = Brown Sharpe

TABLA II
(Continuación)

N° escala Americana B.S. O A.W.G.*	DIAMETRO		SECCION		P E S O		RESISTENC., OHMIOS	
	Plg.	mm.	Circular mils	mm ²	Libras por 1000 pies	Kilo- gramos por m.	Por 1000 pies a 68°F (20°C)	Por Km. a 20°C
31	0,00892	0,23	79,70	0,04	0,2413	0,359	130,1	426,8
32	0,00795	0,20	63,21	0,03	0,1913	0,285	164,1	583,4
33	0,00708	0,18	50,13	0,03	0,1517	0,226	206,9	687,8
34	0,00630	0,16	39,75	0,02	0,1203	0,179	260,9	856,0
35	0,00561	0,14	31,52	0,02	0,09542	0,142	329,0	1.079,4
36	0,00500	0,13	25,00	0,01	0,07568	0,113	414,8	1.361
37	0,00445	0,11	19,83	0,01	0,06010	0,089	523,1	1.716
38	0,00396	0,10	15,72	0,01	0,04759	0,071	659,6	2,164
39	0,00363	0,09	12,47	0,01	0,03774	0,056	831,8	2.729
40	0,00314	0,08	9,888	0,00	0,02990	0,044	1.049,0	3.442

* A.W.G. = American Wire Gauge o B.S. = Brown Sharpe

C A P I T U L O I V

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DEL MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO

4.1 Introducción

Las características del motor monofásico son determinadas en función de sus parámetros y éstos pueden ser obtenidos a partir de las dimensiones y datos de diseños, o por vía experimental.

4.2 Parámetros a partir de las Dimensiones del Motor

Para la determinación de los parámetros resulta evidente que las dimensiones físicas y las magnitudes de los circuitos eléctricos y magnéticos están íntimamente relacionadas.

4.2.1 Resistencia del Devanado de Régimen

Cuando se construye un motor con devanados de hilos conductores resulta muy sencillo el cálculo de la resistencia ohmica, mediante el conocimiento de la longitud y del número total de conductores, así tenemos que: (8)

$$R_1 = LMC \times Z \times \frac{OHM/Km}{1000}$$

LMC = Longitud media de la mitad de la bobina.

Z = Número total de conductores.

OHM/Km = Resistencia por kilómetro

Luego:

$$R_1 = (0.134)(784) \frac{(16.61)}{1000}$$

$$R_1 = 2.74 \text{ OHMS}$$

4.2.2 Reactancia Magnetizante

La reactancia magnetizante es la del flujo principal y depende de las dimensiones del entrehierro y de la densidad de flujo que exista en él, se determina a través de la siguiente fórmula (8)

$$X_m = 0.51\pi f (Zkw)^2 \frac{A_g}{P_{ge} S_{fm}} \times 10^{-6}$$

Donde:

F = frecuencia

Zkw = número efectivo de conductores del devanado de régimen

A_g = Area polar

P = número de polos

ge = longitud de la trayectoria magnética en
el entrehierro

Sfm = factor de saturación

Siendo:

$$Ag = L \lambda$$

$$\lambda = \frac{\pi D_1}{P}$$

L = longitud axial del estator

λ = paso polar

D₁ = diámetro interno del estator

$$\lambda = \frac{3.1416 \times 0.94}{4}$$

$$\lambda = 0.0738$$

$$Ag = 0.0425 \times 0.0738$$

$$Ag = 0.00313 \text{ m}^2$$

ge = kg

g = entrehierro

k = factor de carter

$$g = \frac{D_1 - D_2}{2}$$

D₂ = diámetro del rotor

$$g = \frac{0.094 - 0.09328}{2}$$

$$g = 0.00036$$

$$K = \frac{T_1 (5g + W10)}{T_1 (5g + W10) - W10^2}$$

$$T_1 = \frac{\pi D_1}{S_1}$$

T_1 = paso de ranura del estator

S_1 = número de ranuras del estator

$$T_1 = \frac{3.1416 \times 0.094}{36}$$

$$T_1 = 0.0082$$

$$K = \frac{0.0082 [5(0.00036) + 0.0025]}{0.0082 [5(0.00036) + 0.0025] - (0.0025)^2}$$

$$K = 1.215$$

$$g_e = 1.215 \times 0.00036$$

$$g_e = 0.000437$$

reemplazando valores:

$$X_m = 0.51(3.1416)(60)(643)^2 \frac{0.00313}{(4)(0.000437)(1.)} \times 10^{-6}$$

$$X_m = 64.78 \text{ CHMS}$$

4.2.3 Reactancia de Dispersión

La reactancia de dispersión es uno de los factores más importantes en el funcionamiento de un motor; la reactancia total de dispersión está constituida por diferentes flujos de dispersión, siendo los más influyentes: (Fig. 4-1)

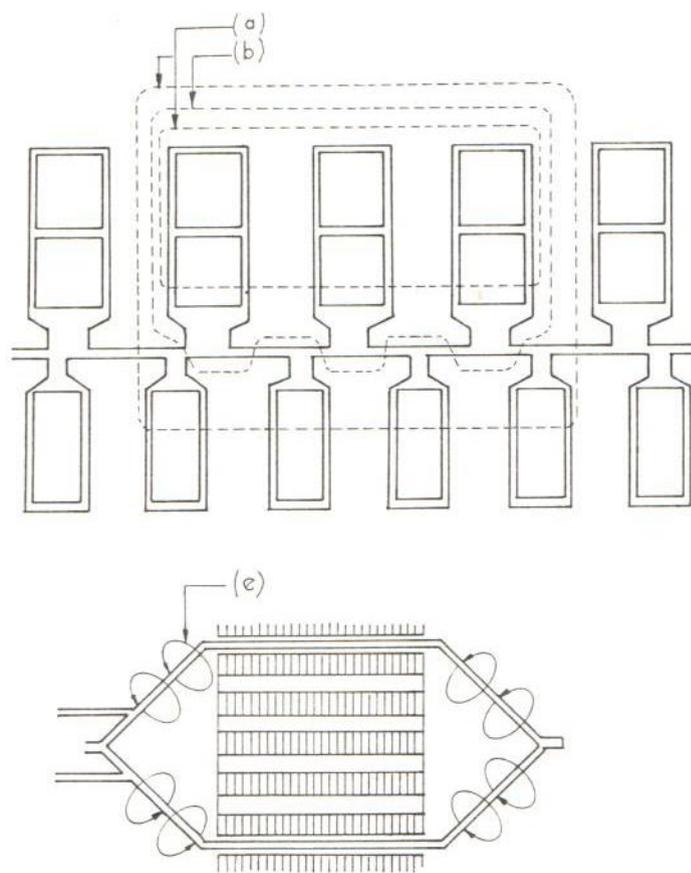


FIGURA 4.1 - FLUJOS DE DISPERSION

- a: Flujos de dispersión en las ranuras
- b: Flujos de dispersión de ZIG-ZAG
- c: Flujos de dispersión de zona
- d: Flujos de dispersión de sesgo
- e: Flujos de dispersión en los terminales de los conductores

4.2.3.1 Reactancia de las Ranuras

El flujo de dispersión en las ranuras se encuentra en el sentido periférico y no en sentido radial del flujo prin-

cipal, enlaza a los conductores de las ranuras del estator y rotor.

La reactancia en la ranura es (8)

$$X_r = \frac{1.6 \pi^2 f (Z_{kw})^2 L_{kt} \times 10^{-6}}{S_1}$$

donde:

K_t = constante total de la ranura del estator y rotor

$$K_t = K_{S1} + \frac{S_1}{S_2} K_{S2}$$

La constante de la ranura del estator es (8)

$$K_{S1} = C_1 + \frac{d_{10}}{W_{10}} + \frac{2d_{10}}{W_{10} + W_{11}}$$

El valor de C_1 se lo determina del gráfico (I), conociendo los siguientes valores:

$$\frac{d_{14}}{W_{13}} = \frac{0.016}{0.006}$$

$$\frac{d_{14}}{W_{13}} = 2.66$$

$$\frac{W_{11}}{W_{13}} = \frac{0.004}{0.006}$$

$$\frac{W_{11}}{W_{13}} = 0.66$$

Siendo:

$$K_{S1} = 1.5 + \frac{0.001}{0.0025} + \frac{2(0.001)}{0.0025 + 0.004}$$

$$K_{S1} = 2.2$$

La constante de la ranura del rotor K_{S2} se la calcula, siguiendo el mismo procedimiento que la ranura del estator. Como el rotor es tipo Jaula de Ardilla de aluminio fundido, las dimensiones de las ranuras han sido asumidas de ciertos valores estándares, para rotores con diámetro similar al del motor que se analiza en este caso.

Las dimensiones de las ranuras del rotor, asumidas son:

$$\frac{d_{24}}{w_{23}} = \frac{0.003}{0.0032}$$

$$\frac{d_{24}}{w_{23}} = 0.937$$

$$\frac{w_{21}}{w_{23}} = \frac{0.00365}{0.0032}$$

$$\frac{w_{21}}{w_{23}} = 1.14$$

El valor de C_2 para el rotor del gráfico (I) es igual a 0.42

Siendo:

$$K_{S2} = C_2 + \frac{d20}{W20} + \frac{2D21}{W20 + W21}$$

$$K_{S2} = 0.42 + \frac{0.00076}{0.00076} + \frac{2(0.00183)}{0.00076 + 0.00365}$$

$$K_{S2} = 0.42 + 1 + 0.83$$

$$K_{S2} = 2.25$$

La constante total de la ranura del estator y rotor es:

$$K_t = 2.2 + \frac{36}{44} \times 2.25$$

$$K_t = 4.04$$

Luego

$$X_r = \frac{1.6(3.1416)^2 (60) (643)^2 (0.0425) (4.04)}{36} \times 10^{-6}$$

$$X_r = 2.06 \text{ OHMS}$$

4.3.2.2 Reactancia de ZIG-ZAG

En los motores de inducción debido al escaso entrehierro y a la existencia de ranuras en el estator y rotor, el flujo de dispersión en los dientes, se transforma en flujo de dispersión de ZIG-ZAG.

Presenta la particularidad de que no obstante hallarse concatenado con la mitad

del devanado primario o con el secundario cruza repetidas veces el entrehierro.

La reactancia de Zig-Zag- es igual a: (8)

$$X_{zz} = \frac{1.67\pi f (Z_{kw})^2 L_{Kzz} \times 10^{-6}}{S_1 g}$$

K_{zz} = constante de Zig-Zag

Siendo:

$$K_{zz} = \frac{(T_{10} + T_{20})^2}{4(T_1 + T_2)}$$

T_{10} = Ancho de la cabeza de los dientes del estator

T_{20} = Ancho de la cabeza de los dientes del rotor.

T_1 = Paso de ranuras del estator

$$T_1 = \frac{\pi D_1}{S_1}$$

$$T_1 = \frac{3.1416 \times 0.094}{36}$$

$$T_1 = 0.0082$$

T_2 = Paso de ranuras del rotor

$$T_2 = \frac{\pi D_2}{S_2}$$

D_2 = Diámetro del rotor

S_2 = Número de ranuras del rotor

$$T_2 = \frac{3.1416 \times 0.09328}{44}$$

$$T_2 = 0.0066$$

Luego:

$$T_{10} = T_1 - W_{10}$$

$$T_{10} = 0.0082 - 0.0025$$

$$T_{10} = 0.0057$$

$$T_{20} = T_2 - W_{20}$$

$$T_{20} = 0.0066 - 0.00076$$

$$T_{20} = 0.00584$$

$$K_{ZZ} = \frac{(0.0057 + 0.00584)^2}{4(0.0082 + 0.00585)}$$

$$K_{ZZ} = 0.00226$$

Luego

$$X_{ZZ} = \frac{1.67(3.1416)(60)(643)^2(0.0425)(0.00226)}{36(0.00036)}$$

$$X_{ZZ} = 0.97 \text{ OHMS}$$

4.2.3.3 Reactancia de Zona

Los flujos de dispersión que existen en el entrehierro, frente a las ranuras, producen una reactancia de zona, que es igual a: (8)

$$X_Z = 0.00186\pi f(Zkw)^2 K_m K_B \times 10^{-6}$$

Donde

K_m = coeficiente de magnetización

K_B = constante de zona

El coeficiente de magnetización es: (8)

$$K_m = \frac{A_g}{g_e S_{fm} P}$$

$$K_m = \frac{0.00313}{(0.00036)(1.1)(4)}$$

$$K_m = 1.63$$

La constante de zona se determina del gráfico II, cuyo valor es 1,60.

La reactancia de zona es:

$$X_z = 0.00186 \times 3.1416 \times 60 \times (643)^2 \times 1.63 \times 1.60 \times 10^{-6}$$

$$X_z = 0.378 \text{ OHMS}$$

4.2.3.4 Reactancia de Sesgo

En muchos motores de inducción, las ranuras del rotor están sesgadas, sirven para evitar pulsaciones de inconvenientes flujos, que en general son producidos por la presencia de armónicos.

La reactancia de sesgo es : (8)

$$X_S = 0.51\pi f(Zkw)^2 K_m K_p Q \times 10^{-6}$$

Donde:

K_p = factor de flujo primario

Q = factor de sesgo

Siendo:

$$K_p = 1 - \frac{P}{100}$$

$$K_p = 1 - \frac{4}{100}$$

$$K_p = 0.97$$

$$Q = 0.25 \left(\frac{\alpha}{100} \right)^2$$

α = ángulo de sesgo de las ranuras del rotor en grados eléctricos.

$$Q = 0.25 \left(\frac{20}{100} \right)^2$$

$$Q = 0.01$$

Luego

$$X_S = 0.51 \times 3.1416 \times 60 \times (643)^2 \times 1.63 \times 0.97 \times 0.01 \times 10^{-6}$$

$$X_S = 0.621 \text{ CHMS}$$

4.2.3.5 Reactancia de los Terminales

Los flujos de dispersión que enlazan la parte del embobinado que se ha exten-

dido má allá del hierro, sin enlazar a otros embobinados, producen las reactancias de los terminales y es igual a (4)

$$X_e = \frac{2.47 \pi f (Zkw)^2 De ACT \times 10^{-6}}{S_1 P}$$

Donde:

$$X_e = \frac{2.47 \times 3.1416 \times 60 \times (643)^2 \times 0.117 \times 6 \times 10^{-6}}{36 \times 4}$$

$$X_e = 0.938 \text{ OHMS}$$

La reactancia total de dispersión de los devanados principales del estator más el rotor, en función de los devanados del estator es: (8)

$$X = X_r + X_{zz} + X_z + X_s + X_e$$

$$X = 2.06 + 0.97 + 0.378 + 0.621 + 0.938$$

$$X = 4.97 \text{ OHMS}$$

Para determinar la reactancia primaria (X_1) y secundaria (X_2), se encuentra primero el valor de la reactancia de circuito-abierto que es igual a: (8)

$$X_o = X_A + \frac{X}{2}$$

Siendo:

X_A = Reactancia de magnetización considerando el sesgo de las ranuras del rotor.

$$X_A = 0.511\pi f(Z_{kw})^2 K_m CSK \times 10^{-6}$$

CSK = Coeficiente de sesgo

$$CSK = \frac{\text{sen } \frac{\alpha}{2}}{\frac{\pi\alpha}{360}}$$

$$CSK = 0.994$$

Donde:

$$X_A = 0.51(3.1416)(60)(643)^2(1.63)(0.994) \times 10^{-6}$$

$$X_A = 64.46 \text{ OHMS}$$

Luego:

$$X_o = 64.46 + \frac{4.97}{2}$$

$$X_o = 66.9 \text{ OHMS}$$

La reactancia primaria es: (8)

$$X_1 = X_o - X_m$$

$$X_1 = 66.9 - 64.79$$

$$X_1 = 2.1 \text{ OHMS}$$

Cuando se tiene un motor de rotor jaula de ardilla se asume que $X_1 = X_2$

Por lo tanto

$$X_2 = 2.1 \text{ OHMS}$$

4.2.4 Resistencia del Rotor

El conocer el valor de la resistencia del rotor es de gran importancia en los motores de inducción fraccionarios.

El mínimo valor de la resistencia del rotor puede ser determinado a partir del rotor bloqueado a través del siguiente parámetro $\frac{R2}{X}$ (8). A través de la experiencia comercial de los motores monofásicos fraccionarios se ha evaluado el valor de $\frac{R2}{X}$ en:

Motor de fase partida	0.45 - 0.65
Motor de fase partida con CAP de arranque	0.45 - 0.80
Motor de fase partida con CAP permanente	0.80 - 1.30

Asumiendo un valor de 0.60 tenemos que

$$\frac{R2}{X} = 0.60$$

$$R2 = 0.60 \times 4.78$$

$$R2 = 2.92 \text{ OHMS}$$

4.3 Parámetros por Vía Experimental

Una vez embobinados los devanados de régimen y de

arranque en las ranuras del estator, se puede determinar sus parámetros en el laboratorio, para lo cual se realizan las siguientes pruebas:

4.3.1 Medición de la Resistencia del Devanado de Régimen y de Arranque.

Usando el método de caída de voltaje, se conecta entre los terminales del devanado de régimen, una fuente de corriente continua de voltaje apropiado regulado por un reóstato, conectando un voltímetro y un amperímetro se tomaron las siguientes lecturas a 25°C

$$V = 3 \text{ voltios}$$

$$I = 1.7 \text{ amperios}$$

En el devanado de arranque se obtuvo las siguientes lecturas

$$V = 3 \text{ voltios}$$

$$I = 0.8 \text{ amperios}$$

4.3.2 Prueba de Vacío

En esta prueba se hizo funcionar al motor a tensión nominal sin carga y una vez que el devanado de arranque queda desconectado por la acción del

interruptor centrífugo se tomaron las siguientes lecturas: (Fig. A del anexo)

$$V = 115 \text{ voltios}$$

$$I = 3.35 \text{ amperios}$$

$$P = 82 \text{ watios}$$

$$N = 1798 \text{ RPM}$$

4.3.3 Prueba de Vacío ideal

Para esta prueba se acopló al eje del rotor del motor monofásico, un motor de corriente continua, (Fig. B del anexo). Ajustando la resistencia del reóstato de campo del motor de corriente continua, se varía su velocidad hasta conseguir la velocidad síncrona, luego se energiza el motor monofásico a tensión nominal y una vez desconectado el devanado de arranque, se toman las siguientes lecturas:

$$V_0 = 115 \text{ voltios}$$

$$I_0 = 3.3 \text{ amperios}$$

$$P_0 = 81 \text{ vatios}$$

$$N = 1800 \text{ RPM}$$

4.3.4 Prueba de Rotor Bloqueado

Bloqueando el eje del rotor con la mano, Fig. C

del anexo y con el devanado de arranque desconectado, se alimenta al motor a través de una fuente de voltaje variable, hasta que circule la corriente nominal, se toma lectura de los instrumentos y se obtienen los siguientes valores:

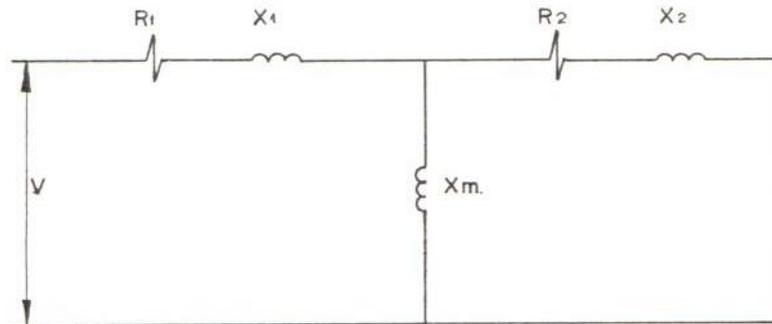
$$V_L = 43 \text{ voltios}$$

$$I_L = 5.6 \text{ amperios}$$

$$P_L = 135 \text{ watios}$$

4.3.5 Cálculo de los Parámetros

Con las medidas obtenidas de las pruebas realizadas en el laboratorio, se calculan los parámetros del motor monofásico



De acuerdo a la ley de OHMS donde:

$$V = IR$$

La resistencia del devanado de régimen es:

$$R_1 = \frac{V}{I}$$

$$R_1 = \frac{3}{1,7}$$

$$R_1 = 1,76 \text{ OHMS}$$

La resistencia del devanado de arranque es:

$$R_{1a} = \frac{3}{0,8}$$

$$R_{1a} = 3,75$$

La reactancia total de dispersión es igual (8)

$$X = \frac{V_O}{I_O} - \sqrt{\left(\frac{V_O}{I_O} - A\right)^2 + B^2}$$

donde:

$$A = \sqrt{\frac{V_L^2}{I_L^2} - \left(\frac{W_L}{I_L}\right)^2}$$

$$A = 6,24$$

$$B = \frac{W_1}{I_L^2} - R_1$$

$$B = 2,54$$

Reemplazando valores tenemos que la reactancia total de dispersión, llamada también reactancia

de cortocircuito es:

$$X = 6.24$$

La reactancia del devanado primario y secundario es (8)

$$X_1 + X_2 = X$$

Asumiendo que $X_1 = X_2$

$$X_1 = \frac{X}{2}$$

$$X_1 = 3.12$$

$$X_1 = 3.12$$

La reactancia de circuito abierto es igual (8)

$$X_o = \frac{2V}{I_o} - X$$

$$X_o = 69.70 - 6.24$$

$$X_o = 63.46$$

La reactancia de magnetización es (8)

$$X_m = X_o - X_1$$

$$X_m = 63.46 - 3.12$$

$$X_m = 60.34$$

La resistencia del rotor referida al estator es (8)

$$R_2 = \frac{BX_o}{X_o - A}$$

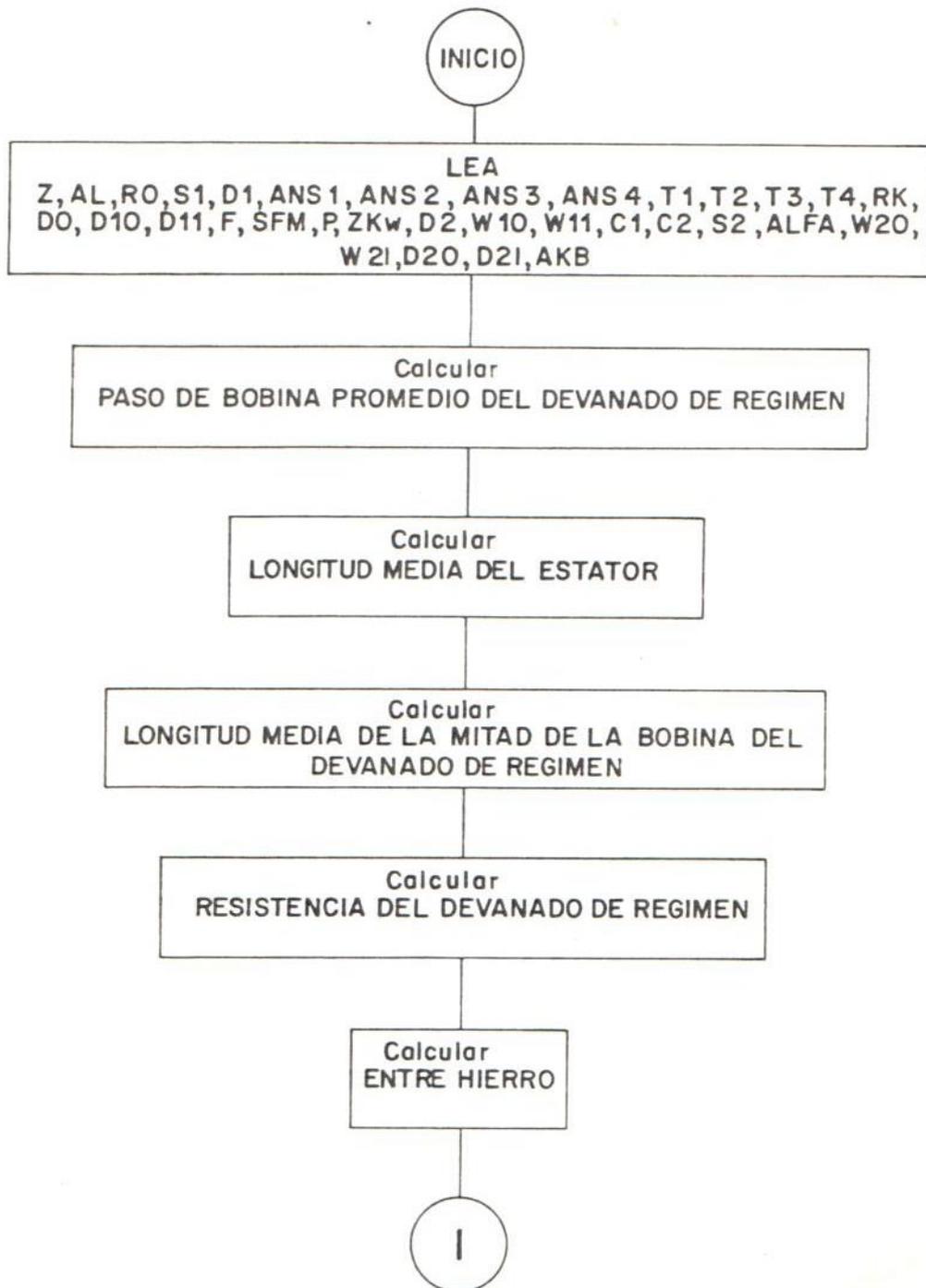
$$R_2 = 2.82$$

Si comparamos los valores de los parámetros calculados a partir de las dimensiones del motor y los obtenidos en las pruebas de laboratorio, notaremos que existe una diferencia entre las reactivancias de dispersión total, debido a que los flujos de dispersión son muy numerosos y para efecto de cálculo teórico sólo hemos considerado cinco componentes.

4.4 Programa de Computación

Para la determinación de los parámetros se ha desarrollado un programa de computación llamado PRMT. El lenguaje usado es el Fortran IV en un computador IBM34, siendo el diagrama de flujo el siguiente:

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CALCULO DE PARAMETROS



1

Calcular
FACTOR DE CARTER

Calcular
REACTANCIA MAGNETIZANTE

Calcular
REACTANCIA DE LAS RANURAS

Calcular
CONSTANTE DE ZIG-ZAG

Calcular
REACTANCIA DE ZIG-ZAG

Calcular
COEFICIENTE DE MAGNETIZACION

2

2

Calcular
REACTANCIA DE ZONA

Calcular
FACTOR DE FLUJO

Calcular
FACTOR DE SESGO

Calcular
REACTANCIA DE SESGO

Calcular
REACTANCIA DE LOS TERMINALES

Calcular
REACTANCIA TOTAL DE DISPERSION

3

3

Calcular
COEFICIENTE DE SESGO

Calcular
REACTANCIA DE MAGNETIZACION CON EL SESGO DEL ROTOR .

Calcular
REACTANCIA DE CIRCUITO ABIERTO

Calcular
REACTANCIA PRIMARIA Y SECUNDARIA

Calcular
RESISTENCIA DEL ROTOR

IMPRIMIR RESULTADOS

FIN

DATE: 01/11/24 TIME: 11.11

TYPE	NAME	DISK ADDR	TOTAL	NUM	TEXT/RECORD	ATTRIBUTES	LINK	ADDR/NUM	STMT
S	PRM1	199042/0309	21/3015	26/260		00000000		137/0089	

?? IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 01/11/24 11:04

?? 000 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION

??

??

?? 7900 DECIMAL IS THE MAIN STORAGE SIZE OF THE LOAD MEMBER

// END DEVICE-SYSIN

PROGRAMS LINK(P,LIB(TB71)),INSDSORCP,NOHBLT

C

PROGRAM PRM1

C PROGRAMA PARA LA DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE UN MOTOR DE

C INDUCCION MONOFASICO

C

DATA LR,LR/4,3/

C Z=NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN

C AL=LONGITUD AXIAL DEL NUCLEO DEL ESTATOR

C R0=CONSTANTE EMPIRICA PARA MOTORES DE CUATRO POLOS

C S1=NUMERO DE RANURAS DEL ESTATOR

C S2=NUMERO DE RANURAS DEL ROTOR

C D1=DIAMETRO INTERIOR DEL ESTATOR

C D2=DIAMETRO DEL ROTOR

C P=NUMERO DE POLOS

C F=FRECUENCIA

C K=FACTOR DE SATURACION

C ZK=NUMERO EFECTIVO DE CONDUCTORES DEL DEVANADO DE REGIMEN

C ANS1,ANS2,ANS3,ANS4,=NUMERO DE LADOS DE BOBINA POR RANURAS

C I1,I2,I3,I4,=PASOS DE bobinas

C RK=RESISTENCIA POR KILOMETRO

C D0=LONGITUD DE LAS RANURAS

C D10=PROFUNDIDAD DE LA ENTRADA DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C D11=PROFUNDIDAD DE LA BOCA DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C W11=ANCHO DE LA PARTE SUPERIOR DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C C1=CONSTANTE DE ABERTURA DE LAS RANURAS DEL ESTATOR

C D20=PROFUNDIDAD DE LA ENTRADA DE LAS RANURAS DEL ROTOR

```

C      *D21=PROFUNDIDAD DE LA BOCA DE LAS RANURAS DEL ROTOR
C      *D20=ABERTURA DE LA BOCA DE LAS RANURAS DEL ROTOR
C      *D21=ANCHO DE LA PARTE SUPERIOR DE LAS RANURAS DEL ROTOR
C      *C2=CONSTANTE DE ABERTURA DE LAS BOCAS DEL ROTOR
C      *ALFA=ANGULO DE SFUGO DE LAS RANURAS DEL ROTOR
C      *AKR=CONSTANTE DE ZONA
C
C
C      READ(LR,5)Z,AL,RO,D1,D11,ANS1,ANS2,ANS3,ANS4,T1,T2,T3,T4,RK
C      READ(LR,5)D0,D10,D11,r,SFM,P,ZK,w1,w2,w10,w11,C1,S2,ALFA,*20
C      READ(LR,5)C2,D20,D21, B1,AKR
C      5  FORMAT(8F10.5)
C
C      PASO DE BARRINA PARA DETERMINAR EL DEVIADO DE REGIMEN
C      ACT=(ANS1*T1+ANS2*T2+ANS3*T3+ANS4*T4)/(ANS1+ANS2+ANS3+ANS4)
C      LONGITUD MEDIA DEL ESTATOR
C      LEED1=D0+D10+D11
C      LONGITUD MEDIA DE LA BARRINA DEL DEVANADO DE REGIMEN
C      ALCEAL=((3.1416*DE*LE)/ZSI)*ACT
C      RESISTENCIA DEL DEVANADO DE REGIMEN
C      RT=ALCEAL*RS/1000.0
C      ENTREHIERRO
C      g=(D1-D2)/2.0
C      PASO POLAR
C      TAU1=3.1416*D1/P
C      PASO DE LA RANURA DEL ESTATOR
C      TAU1=3.1416*D1/S1
C      CALCULO DEL FACTOR DE CORTE
C      AK=TAC1*(5.0*DE*w10)/(TAU1*(5.0*DE*101-w10**2))
C      LONGITUD DE LA TRAYECTORIA MAGNETICA EN EL ENTREHIERRO
C      LE=AK*G
C      AREA POLAR
C      AG=AL*TAU1
C      PASO DE LA RANURA DEL ROTOR
C      TAU2=3.1416*D2/S2
C      CALCULO DE LA REACTANCIA MAGNETICA EN EL
C      *K=10.51*3.1416*DE*(ZK*w1)**2*AG*1.0E-05)/(P*GE*SFM)
C      CONSTANTE DE LA RANURA DEL ESTATOR
C      ANS1=C1+(D10/w10)+((1.0*DE*11)/(D10*11))
C      CONSTANTE DE LA RANURA DEL ROTOR
C      ANS2=C2+(D20/w20)+((1.0*DE*21)/(D20*21))

```

```

C      CONSTANTE TOTAL DE LAS RANURAS DEL ESTATOR Y ROTOR
      AKT=AKS1+AKS2
C      CALCULO DE LA REACTANCIA DE LAS RANURAS
      XR=1.5*(3.1416)**2*F*(ZK1)**2*AL*TAU1*1.0E-06/S1
      T1=TAU1-110
      T2=TAU2-120
C      CONSTANTE DE ZIG ZAG
      AKZZ=(T10+T20)**2/(4*(TAU1+TAU2))
C      CALCULO DE LA REACTANCIA DE ZIG ZAG
      XZZ=1.67*3.1416*F*(ZK1)**2*AL*AKZZ*1.0E-06/(S1*G)
C      COEFICIENTE DE MAGNETIZACION
      AKM=AG/(GL*SF*P)
C      CALCULO DE LA REACTANCIA DE ZONA
      XZ=0.00186*3.1416*F*(ZK4)**2*AKM*AKB*1.0E-06
C      FACTOR DE FLUJO
      AKP=1.0-(P/100.0)
C      FACTOR DE SESGO
      U=0.25*(ALFA/100.0)**2
C      CALCULO DE LA REACTANCIA DE SESGO
      XS=0.51*3.1416*F*(ZKW)**2*AKM*AKP*U*1.0E-06
C      CALCULO DE LA REACTANCIA DE LOS TERMINALES
      XE=2.47*3.1416*F*(ZKW)**2*DE*ACT*1.0E-06/(S1*P)
C      CALCULO TOTAL DE LA REACTANCIA DE DISPERSION
      X=XR+XZZ+XZ+XS+XE
C      COEFICIENTE DE SESGO
      CSK= SIN(3.1416*ALFA/360)/((3.1416*ALFA)/360)
C      REACTANCIA DE MAGNETIZACION CONSIDERANDO EL SESGO DEL ROTOR
      KA=0.51*3.1416*F*(ZKW)**2*AKM*CSK*1.0E-06
C      CALCULO DE LA REACTANCIA DE CIRCUITO ABIERTO
      X0=KA+(X/2.0)
C      CALCULO DE LAS REACTANCIAS PRIMARIA Y SECUNDARIA
      X1=X0-XM
      X2=X1
C      CALCULO DE LA RESISTENCIA DEL ROTOR
      RZ=0.6*X
      WRITE(LW,40)
40  FORMAT(1H1///30X,'VALORES DE LOS PARAMETROS')
      WRITE(LW,50)ACT,AL,ALFC,R1,G,AK,XR,XZ,AKZZ,XZZ,AKM,XZ
50  FORMAT(/20X,F12.8,' = PASO DE BOUTINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE REGI
      DNE1'/20X,F12.8,' = LONGITUD MEDIA DEL ESTATOR'/20X,F12.8,' = LONGI

```

2TUD MEDIA DEL LAMITAD DE LA HOBINA DEL DEVANADO DE REGIMEN*/20X,F12
3.B.* = RESISTENCIA DEL DEVANADO DE REGIMEN*/20X,F12.B.* = ENTREHIE
4KRD*/20X,F12.B.* = CALCULO DEL FACTOR DE CARTER*/20X,F12.B.* = REA
5CTANCIA MAGNETIZANTE*/20X,F12.B.* = REACTANCIA DE LAS RANURAS*/20X
6.F12.B.* = CONSTANTE DE ZIG ZAG*/20X,F12.B.* = REACTANCIA DE ZIG Z
7AG*/20X,F12.B.* = COEFICIENTE DE MAGNETIZACION*/20X,F12.B.* = REAC
8TANCIA DE ZONA*)

WRITE(LW,50)AKP,0,XS,XE,X,CSK,XA,X0,X1,X2,R2
60 FORMAT(/20X,F12.B.* = FACTOR DE FLUJO*/20X,F12.B.* = FACTOR DE SES
150*/20X,F12.B.* = REACTANCIA DE SESGO*/20X,F12.B.* = REACTANCIA DE
2LOS TERMINALES*/20X,F12.B.* = REACTANCIA TOTAL DE DISPERSION*/20X,
3F12.B.* = COEFICIENTE DE SESGO*/20X,F12.B.* = REACTANCIA DE MAGNET
4IZACION CONSIDERANDO EL SESGO DEL ROTOR*/20X,F12.B.* = REACTANCIA
5DE CIRCUITO ABIERTO*/20X,F12.B.* = REACTANCIA PRIMARIA*/20X,F12.B.
6* = REACTANCIA SECUNDARIA*/20X,F12.B.* = RESISTENCIA DEL ROTOR*)

STOP

END

??SYS-3130 I PRMT MODULE IS MAIN STORAGE SIZE IS
?? 7000 DECIMAL
??SYS-3131 I 3000 IS THE START CONTROL ADDRESS OF THIS MODULE
??SYS-3134 I PRMT MODULE IS CATALOGED AS A LOAD MEMBER
?? 1371 IS THE LIBRARY NAME
?? 05 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS

VALORES DE LOS PARAMETROS

0.00000000 = PASO DE BURINA PROMEDIO DEL DEVANADO DE REGIMEN
 0.11599977 = LONGITUD MEDIA DEL ESTATOR
 0.13437161 = LONGITUD MEDIA DE LAMITAD DE LA BURINA DEL DEVANADO DE REGIME
 1.75007015 = RESISTENCIA DEL DEVANADO DE REGIMEN
 0.00037999 = ENTRENTERRO
 1.21575915 = CALCULO DEL FACTOR DE CARTER
 4.73375290 = REACTANCIA MAGNETIZANTE
 2.06130435 = REACTANCIA DE LAS BANUPAS
 0.00276457 = CONSTANTE DE ZIG ZAG
 0.96655442 = REACTANCIA DE ZIG ZAG
 1.02894194 = COEFICIENTE DE MAGNETIZACION
 0.37903733 = REACTANCIA DE ZONA

 0.96000004 = FACTOR DE FLUJO
 0.01000000 = FACTOR DE SESGO
 0.67112919 = REACTANCIA DE SESGO
 0.93441569 = REACTANCIA DE LOS TERMINALES
 4.06541925 = REACTANCIA TOTAL DE DISPERSION
 0.92443062 = COEFICIENTE DE SESGO
 64.65535704 = REACTANCIA DE MAGNETIZACION CONSIDERANDO EL SESGO DEL ROTOR
 60.93074737 = REACTANCIA DE CIRCUITO ABIERTO
 2.13470997 = REACTANCIA PRIMARIA
 2.15480042 = REACTANCIA SECUNDARIA
 2.97275717 = RESISTENCIA DEL ROTOR

DETERMINACION DEL VALOR DE "C"

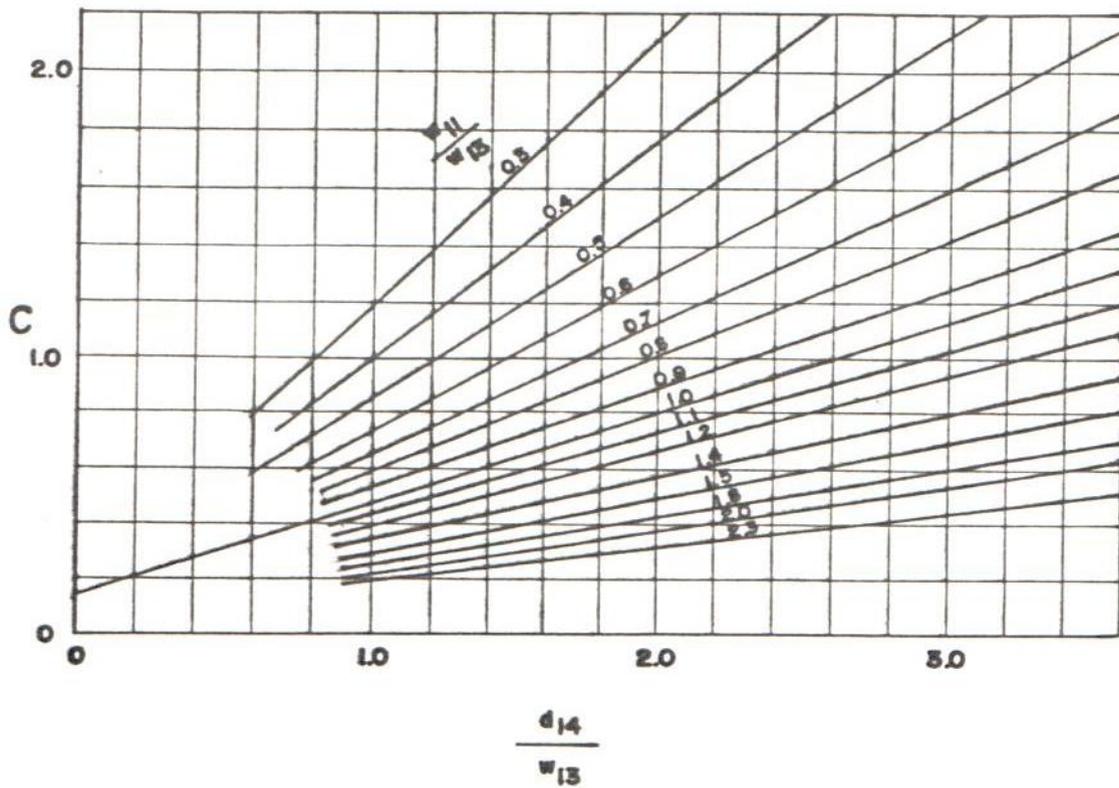


GRAFICO I

CONSTANTE DE LA REACTANCIA DE ZONA

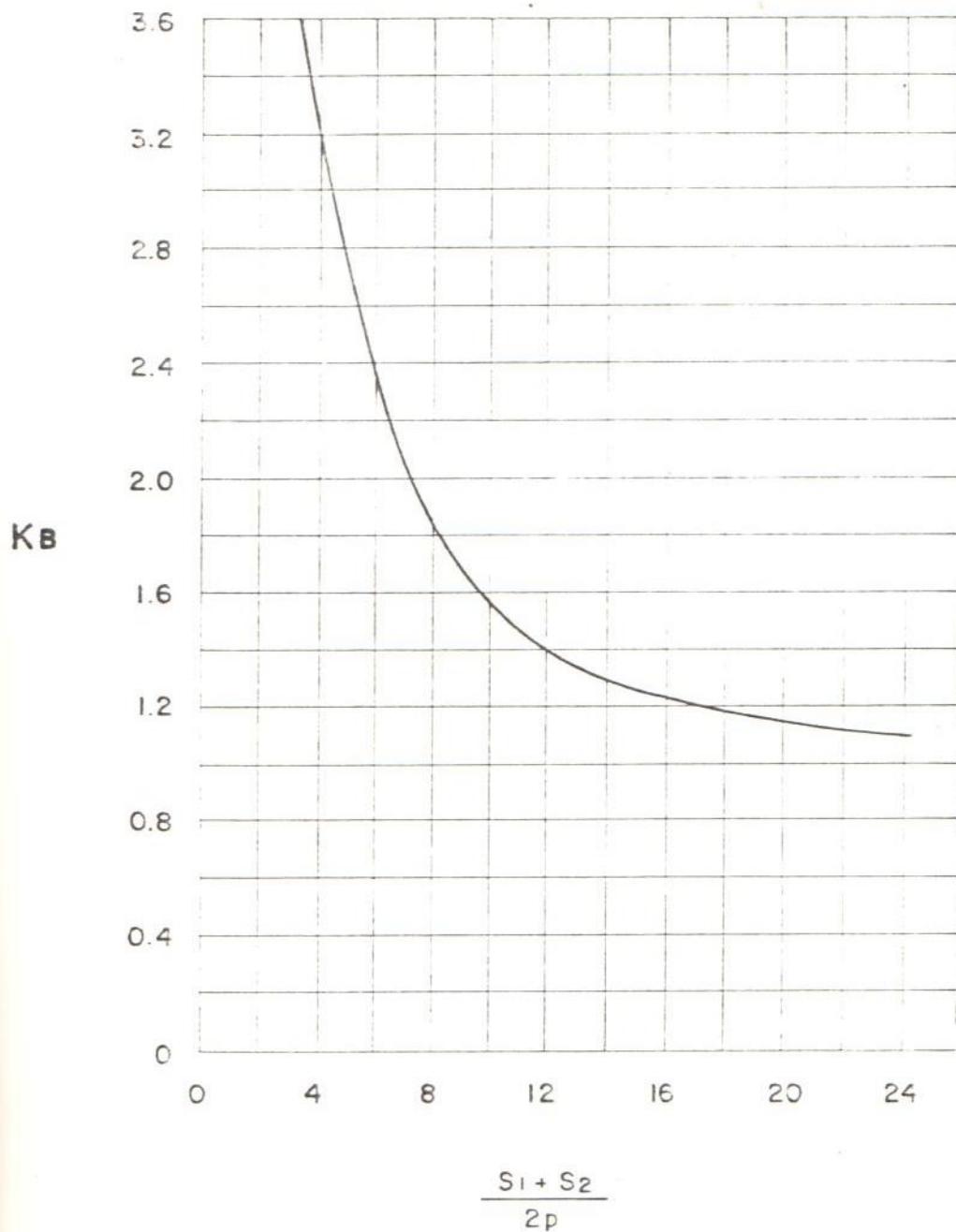


GRAFICO II

C A P I T U L O V

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1 Introducción

Normalmente las características de funcionamiento de un motor monofásico son: el voltaje, la corriente, la potencia, el torque y la velocidad; haciendo uso de la teoría de doble campo giratorio se determinarán las características antes mencionadas, para lo cual se utilizarán los parámetros calculados en las pruebas realizadas en el laboratorio, por ser valores reales.

5.2 Características de Arranque

El propósito del devanado de arranque, es producir un campo giratorio durante el arranque que proporcione un torque, el cual ponga el rotor en movimiento.

5.2.1 Cálculo del Torque de Arranque

El uso de un capacitor en serie con el devanado de arranque, es conseguir un mayor ángulo de fase, entre las corrientes que circulan en los devanados de régimen y arranque.

Con los valores de los parámetros obtenidos en el capítulo IV, el torque de arranque podrá calcularse según la siguiente fórmula: (4)

$$T_{arr} = \frac{0.0162 P E_a R_2}{f} \frac{R_a X - R_m (X_a - X_c)}{[R_m^2 + X^2] [R_a^2 + (X_a - X_c)^2]} K_r$$

Donde:

R_m = Resistencia total del devanado principal

$$R_m = R_1 + R_2$$

$$R_m = 1,76 + 2,82$$

$$R_m = 4.58 \text{ OHMS}$$

R_a = Resistencia total del devanado de arranque

$$R_a = R_{1a} + R_{2a}$$

La resistencia a rotor bloqueado en función del devanado de arranque es:

$$R_{2a} = a^2 R_2$$

$$R_{2a} = (1.15)^2 (2.82)$$

$$R_{2a} = 3.73 \text{ OHMS}$$

Siendo

$$R_a = 3.75 + 3.73$$

$$R_a = 7.48 \text{ OHMS}$$

La reactancia de dispersión total en función del devanado de arranque es:

$$X_a = (a)^2(x)$$

$$X_a = (1.15)^2 (6.24)$$

$$X_a = 8.25 \text{ OHMS}$$

La impedancia a rotor bloqueado del devanado de régimen es:

$$Z_m = (R_m)^2 + (x)^2$$

$$Z_m = (4.58)^2 + (6.24)^2$$

$$Z_m = 7.74 / \underline{53.72^\circ} \text{ OHMS}$$

La corriente de rotor bloqueado en el devanado de régimen es:

$$I_r = \frac{V}{Z_m}$$

$$I_r = \frac{115}{7.74 / \underline{53.72^\circ}} \text{ AMPS.} \quad I_r = 14.86 / \underline{-53.72} \text{ AMPS}$$

La capacidad del condensador está entre 216-240 μ t para determinar la reactancia capacitiva se escoge el valor medio que es 228 μ f

La reactancia capacitivas es (4)

$$X_c = \frac{10^6}{2\pi f c}$$

$$X_c = \frac{10^6}{(2)(3.1416)(6)(228)}$$

$$X_c = 11.63 \text{ OHMS}$$

La impedancia del devanado de arranque con capacitor en serie es (4)

$$Z_{arr} = R_a^2 + (X_a - X_c)^2$$

$$Z_{arr} = (7.48)^2 + (8.25 - 11.63)^2$$

$$Z_{arr} = 8.21 \underline{-24.32^\circ \text{OHMS}}$$

La corriente a rotor bloqueado en el devanado de arranque:

$$I_a = \frac{V}{Z_{a1}}$$

$$I_a = \frac{115}{8.21 \underline{-24.32^\circ}}$$

$$I_a = 14 \underline{24.32^\circ} \text{ AMPS}$$

La corriente a rotor bloqueado para los dos devanados en paralelo (4)

$$I_L = I_r \frac{(Z_m + Z_a)}{Z_a}$$

$$I_L = 14.86 \frac{(7.74 + 8.21)}{8.21}$$

$$I_L = 28.93 \text{ AMPS}$$

El factor de flujo total es (8)

$$K_r = \frac{X_o - X}{X_o}$$

$$K_r = \frac{63.46 - 6.24}{68.46}$$

$$K_r = 0.9$$

Reemplazando en la ecuación de torque de arranques los valores calculados:

$$T_{arr} = \frac{0.0162 \times 4 \times (115)^2 (1.15)(2,82)}{60} \times \frac{(7.48)(6.24) - 4.58 (8.25 - 11.63)}{[(4.58)^2 + (6.84)^2][(7.48)^2 + (8.25 - 11.63)^2]}$$

$$T_{arr} = 0.463 \text{ m-Kg}$$

5.2.2 Oscilograma de las Corrientes

En el laboratorio, usando un osciloscopio y a través de un sistema de fotografía polaroide, se obtuvieron algunos oscilogramas de las corrientes que circulan en el momento de arranque en los dos devanados y en la línea de alimentación.

En la foto N° 1 se observa la corriente de línea total que circula en los dos devanados, además se puede apreciar la forma de onda del devanado de régimen, una vez que se ha desconectado el devanado de arranque por la acción del interruptor centrífugo.

En la foto N° 2 se observa el desplazamiento de fase entre las corrientes que circulan en el de-

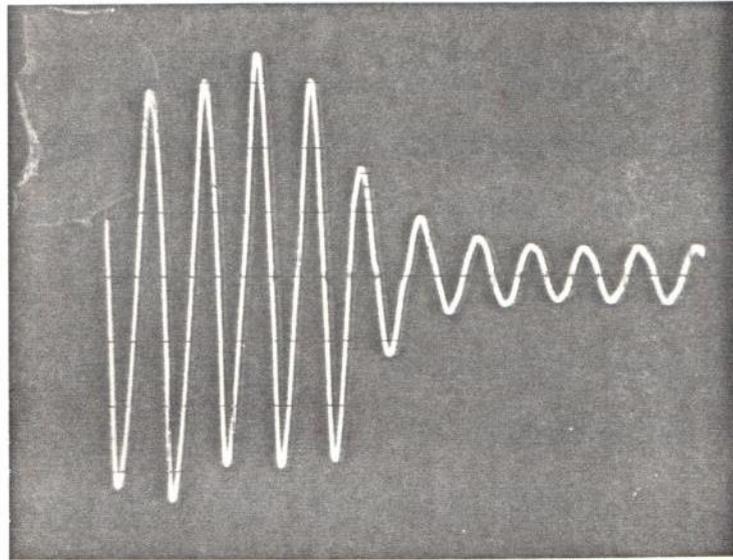


FOTO N^o 1.- Corriente de Línea al Arranque

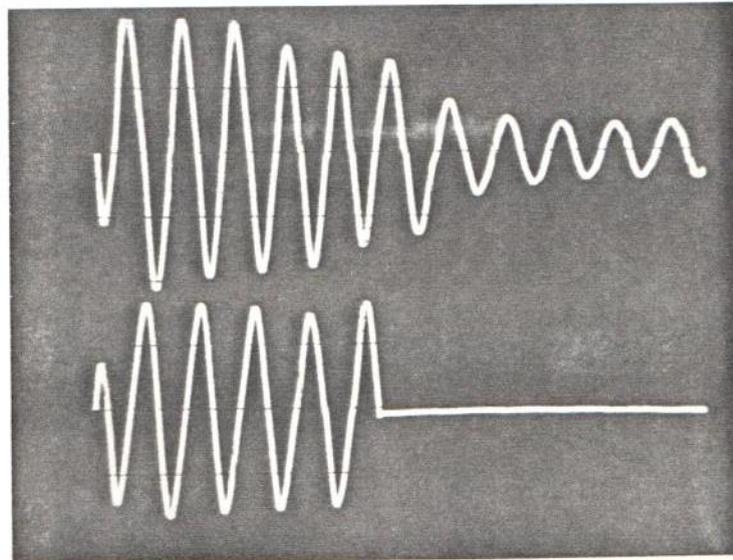


FOTO N^o 2.- Defasamiento de las Corrientes

vanado de régimen, parte superior, y el devanado de arranque, parte inferior.

En la foto N^o.3 se observa la corriente que circula en el devanado de arranque, la misma que es cero, una vez que el devanado ha sido desconectado del circuito del motor.

En la foto N^o 4 se observa la corriente que circula en el devanado de régimen, en el momento de arranque y en operación normal.

En la foto N^o 5 se observa la corriente que circula por el devanado de régimen, una vez que ha sido desconectado el devanado de arranque.

5.3 Características de Operación

Del circuito equivalente de la teoría de campos giratorios doble determinamos las características de operación. (Fig. 5-1).

Los cálculos se realizan para un valor de deslizamiento igual a: (6)

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$s = \frac{1.800 - 1.725}{1.800}$$

$$s = 0.042$$

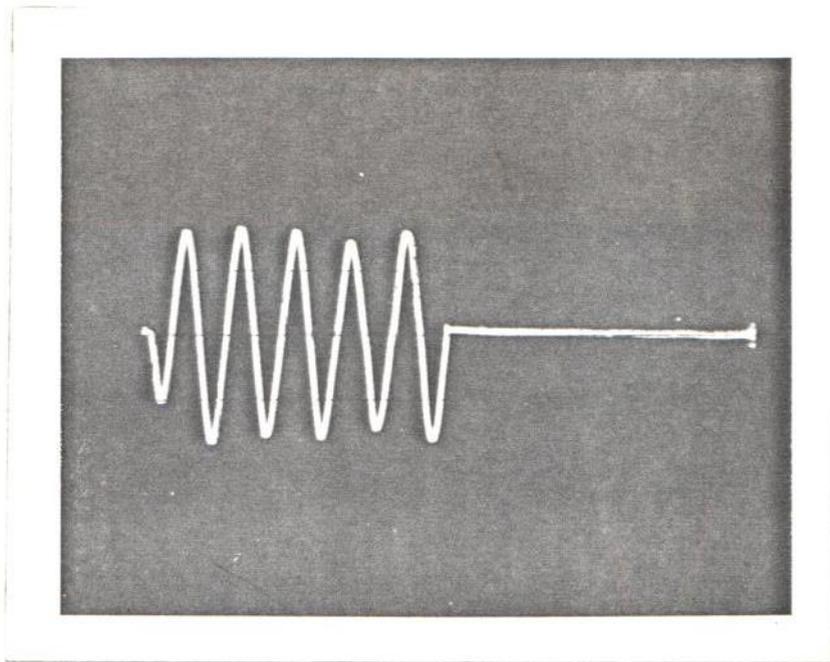


FOTO N° 3.- Corriente del Devanado de Arranque

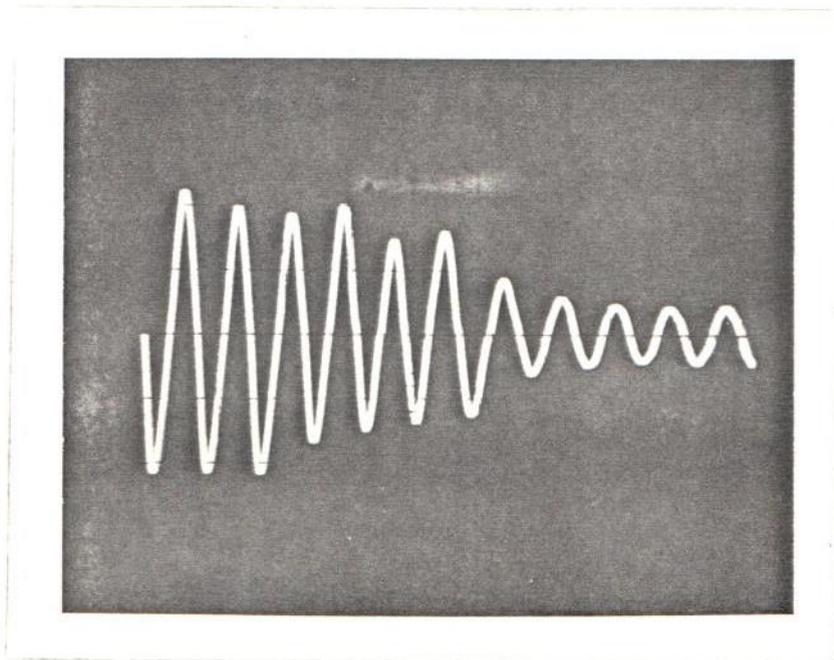


FOTO N° 4.- Corriente del Devanado de Régimen

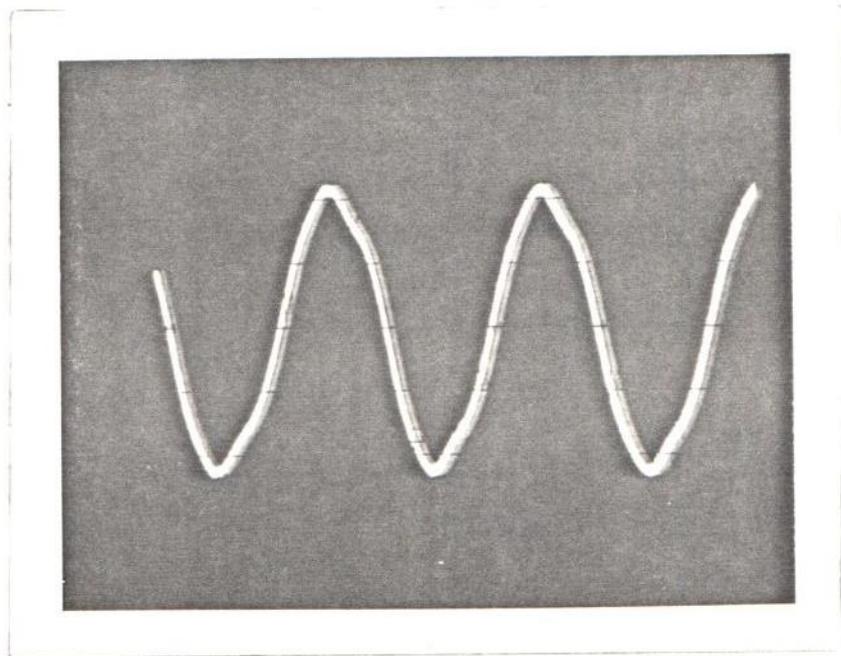


FOTO N^o 5.- Corriente del devanado de Régimen en Vacío.

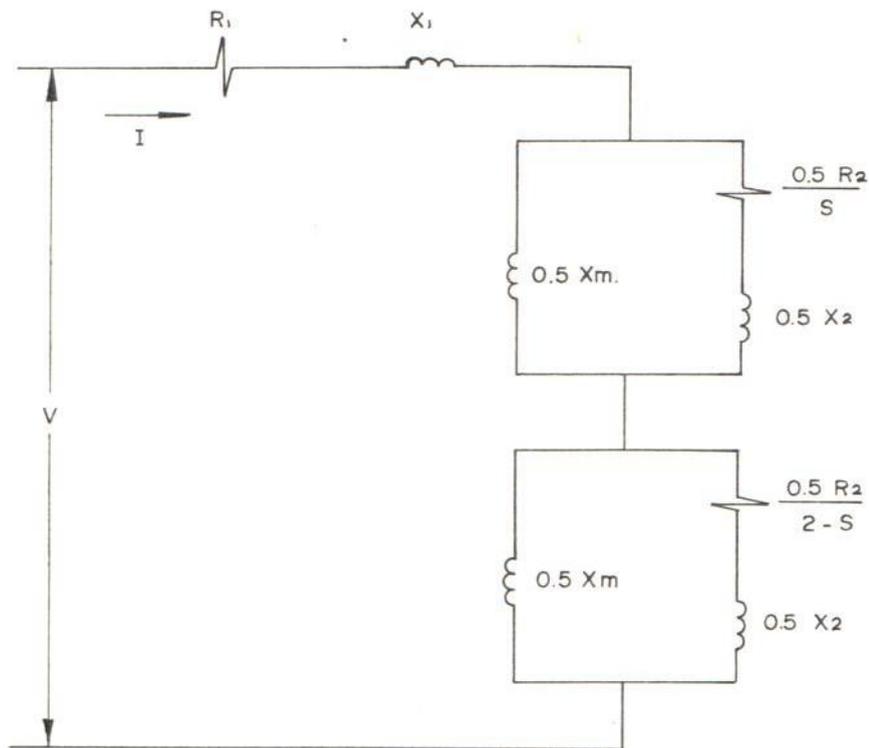


FIGURA N° 5-1

Circuito Equivalente del Motor Monofásico

La impedancia hacia adelante es: (7)

$$Z_f = \frac{j0.5 X_m \left(\frac{0.5R_2}{S} + j0.5 X_2 \right)}{\frac{0.5R_2}{S} + j(0.5X_2 + 0.5X_m)}$$

$$Z_f = \frac{j30.17\left(\frac{1.41}{0.042} + j1.56\right)}{\frac{1.41}{0.042} + j(1.56 + 30.12)}$$

$$Z_f = 14.32 + j16.63$$

$$Z_f = 21.95 / \underline{49.27 \text{ OHMS}}$$

La impedancia hacia atrás es: (7)

$$Z_b = \frac{j0.5 X_m \left(\frac{0.5R_2}{2-s} + j0.5 X_2\right)}{\frac{0.5R_2}{2-s} + j(0.5X_2 + 0.5X_m)}$$

$$Z_b = \frac{j30.17\left(\frac{1.41}{1.958} + j1.56\right)}{\frac{1.41}{1.958} + j(1.56 + 30.17)}$$

$$Z_b = 0.653 + j1.5$$

$$Z_b = 1.64 / \underline{66.53^\circ \text{ OHMS}}$$

La impedancia Z1 es igual a:

$$Z_1 = R_1(75^\circ) + X_1$$

$$R_1(75^\circ) = 1.15 \times 1.76$$

$$R_1(75^\circ) = 2.02$$

$$Z_1 = 2.02 + j3.12$$

$$Z_1 = 3.72 / \underline{57.1^\circ \text{ OHMS}}$$

La corriente que circula por el circuito es: (7)

$$I = \frac{V}{Z_1 + Z_f + Z_b}$$

$$Z_l + Z_f + Z_b = 16.99 + j21.25 = 27.2 / \underline{51.36^\circ}$$

$$I = \frac{115}{27.2 / \underline{51.36^\circ}}$$

$$I = 4.32 / \underline{-51.36^\circ}$$

El factor de potencia es $\cos 51.36 = 0.624$

La potencia de entrada es: (7)

$$P_{ent} = VI \cos \phi$$

$$P_{ent} = 115 \times 4.23 \times 0.624$$

$$P_{ent} = 303.4 \text{ watios}$$

La potencia mecánica interna es: (7)

$$P_{em} = (1-S) I^2 (R_f - R_b)$$

$$P_{em} = (0.96)(4.23)^2 (14.32 - 0.653)$$

$$P_{em} = 234.76 \text{ watios}$$

La potencia mecánica de salida es: (7)

$$P_{sal} = P_{em} - P_{rot}$$

P_{rot} es la suma de potencia perdida en el núcleo y por efecto de ventilación y fricción.

$$P_{rot} = P_{nuc-rot} + P_f + v$$

Con los valores obtenidos de las pruebas de vacío y vacío ideal encontramos la potencia de pérdida

rotacional (6)

$$P_{\text{nucl-total}} = P_0 - (P_{\text{cu1}} + P_{\text{cu2}})$$

Las pérdidas en el devanado del estator es: (6)

$$P_{\text{cu1}} = R_1 I_0^2$$

$$P_{\text{cu1}} = 1.76 \times (3.3)^2$$

$$P_{\text{cu1}} = 19.17 \text{ watios}$$

Las pérdidas en el devanado del rotor (6)

$$P_{\text{cu2}} = R_2 I_0^2$$

$$P_{\text{cu2}} = 2.82 \times (3.3)^2$$

$$P_{\text{cu2}} = 30.71 \text{ watios}$$

Las pérdidas por ventilación y fricción

$$P_f + v = P_v - P_{v1}$$

$$P_f + v = 82 - 81$$

$$P_f + v = 1 \text{ watio}$$

Siendo las pérdidas del núcleo total:

$$P_{\text{nucl-total}} = 81 - (19.17 + 30.71)$$

$$P_{\text{nucl-total}} = 31.66 \text{ watios}$$

Asumiendo que las pérdidas del núcleo por rotación es la mitad de las pérdidas totales del núcleo (6), tenemos que:

$$P_{\text{rot}} = 15.83 + 1$$

$$P_{\text{rot}} = 16.83 \text{ watio}$$

La potencia en el eje es:

$$P_{\text{sal}} = 234.76 - 16.83$$

$$P_{\text{sal}} = 217.93$$

El torque desarrollado para el deslizamiento de 0.042 es: (4)

$$T = \frac{KcP}{n}$$

$$T = \frac{0.98 P_{\text{sal}}}{n}$$

$$T = \frac{0.98 \times 217.93}{1725}$$

$$T = 0.124\text{m-Kg}$$

El rendimiento es:

$$\text{Rend} = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} \times 100$$

$$\text{Rend} = \frac{217.93}{303.4} \times 100$$

$$\text{Rend} = 71.82\%$$

5.4 Pruebas de Carga

Acoplado al eje del motor un generador, (Fig. D del anexo) y, cargándole a través de resistencia a este último, se obtienen las siguientes características:

Voltaje de Línea (Voltios)	Corriente de Línea (Amperios)	Potencia de Entrada (Wattios)	Potencia de Salida (Wattios)	Eficiencia	Factor de Potencia	Velocidad (RPM)	Torque m-Kg
115	3.4	110	67.52	0.613	0.281	1795	0.0369
115	4.2	300	236.37	0.788	0.621	1740	0.1331
115	5.4	390	296.0	0.759	0.628	1725	0.1682
115	7.4	550	366.8	0.667	0.646	1600	0.2247
115	9.6	760	420.30	0.553	0.688	1400	0.2942

Usando un dinamómetro y frenando al motor a través de un sistema hidráulico se obtuvieron los siguientes resultados:

Voltaje de Salida (Voltios)	Corriente de Línea (Amperios)	Potencia de Entrada (Wattios)	Potencia de Salida (Wattios)	Eficiencia	Factor de Potencia	Velocidad (RPM)	Torque m-Kg
115	3.4	150	66.2	0.44	0,35	1775	0,0365
115	4.2	300	195.8	0,652	0,56	1750	0,110
115	5.4	400	243	0,607	0,66	1710	0,139
115	7.4	600	330	0,55	0,70	1625	0,199
115	9.6	800	390	0,487	0,72	1400	0,273

En la Fig. 5-2 se representan las curvas de las características de carga; las líneas llenas representan las características obtenidas, cuando se acopló al eje del motor un generador y las líneas cortadas son las características obtenidas cuando se usó el dinamómetro.

Analizando las curvas, se puede decir que en vacío el factor de potencia es muy bajo, el motor tiene su mayor rendimiento cuando la velocidad se encuentra entre 1740 y 1750 RPM.

El factor de potencia aumenta a medida que se sobrecarga el motor, siendo este aumento debido a la mayor potencia activa requerida al incrementar la carga.

Si comparamos los resultados obtenidos en una y otra prueba, notaremos que existe una ligera diferencia y que el motor cumple con las características de diseño.

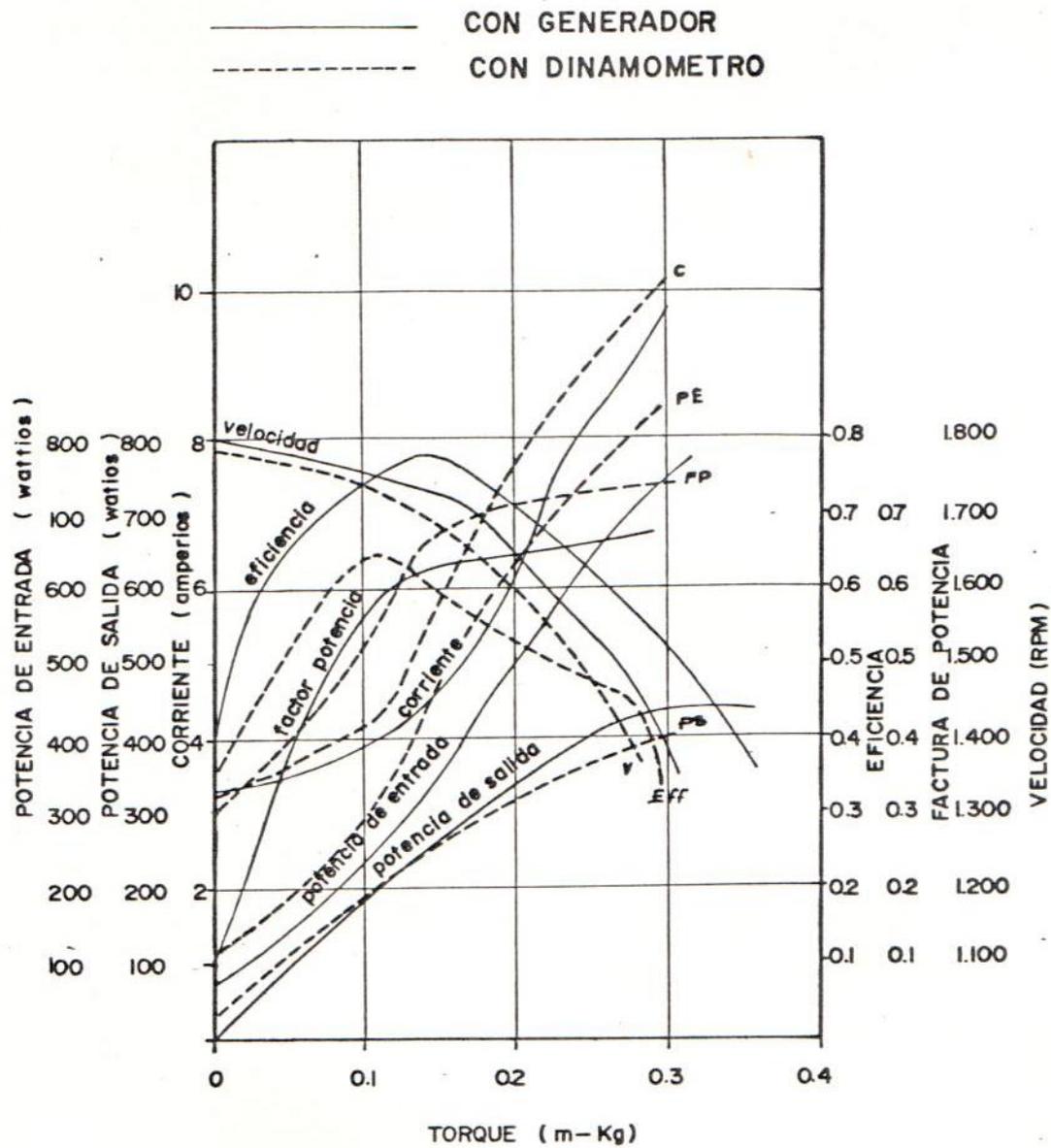


FIG. Nº 5.2 : CARACTERISTICAS DE CARGA

C A P I T U L O VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio realizado en este trabajo nos permite construir motores de inducción monofásicos, a partir de un núcleo dado, para obtener una cierta potencia a una tensión, velocidad y frecuencia determinadas.

La potencia de un motor es proporcional al volumen del prisma cuadrangular circunscrito al rotor, siendo el volumen igual a $D^2 \times L$.

Las características dependen de muchas condiciones diferentes, como son: entrehierro, longitud axial, forma de las ranuras, calidad del hierro; pero la que tiene mayor influencia y que puede ser cambiada fácilmente es el número de los conductores que forman los devanados del estator.

El uso del computador en el cálculo de los devanados ha dado como resultado obtener valores confiables con mayor rapidez permitiendo hacer un análisis de sensibilidad respecto a los parámetros.

Como las variables que intervienen en los programas de Computación, son tomadas de las dimensiones del motor, es necesario realizar varias lecturas con equipos de alta precisión, debido a que pequeñas variaciones en las medidas, en especial del Diámetro Interno (D_1), Longitud Axial (L) y Diámetro del Rotor (D_2), dan como resultado errores significativos en los cálculos que se realizan.

En este diseño se ha calculado para el devanado de arranque un conductor de hilo N° 20, pero se mejorarían las características de arranque usando conductores de hilo N° 21 al N° 25.

Tomando como base este trabajo, sería recomendable realizar un análisis del costo de materiales y mano de obra, para ver si es factible la construcción de este tipo de motores en nuestro país.

A N E X O S

PRUEBAS DE LABORATORIO

Cuando se diseñan y construyen motores eléctricos y se desea comprobar las características para las que fueron diseñados, se recurre a ciertas pruebas en un laboratorio.

Uno de los puntos más importantes en un laboratorio, es su equipamiento con instrumentos de medición de alta precisión, con lo cual se obtienen lecturas con menos errores posibles, haciendo que los cálculos que se efectúen sean valores reales.

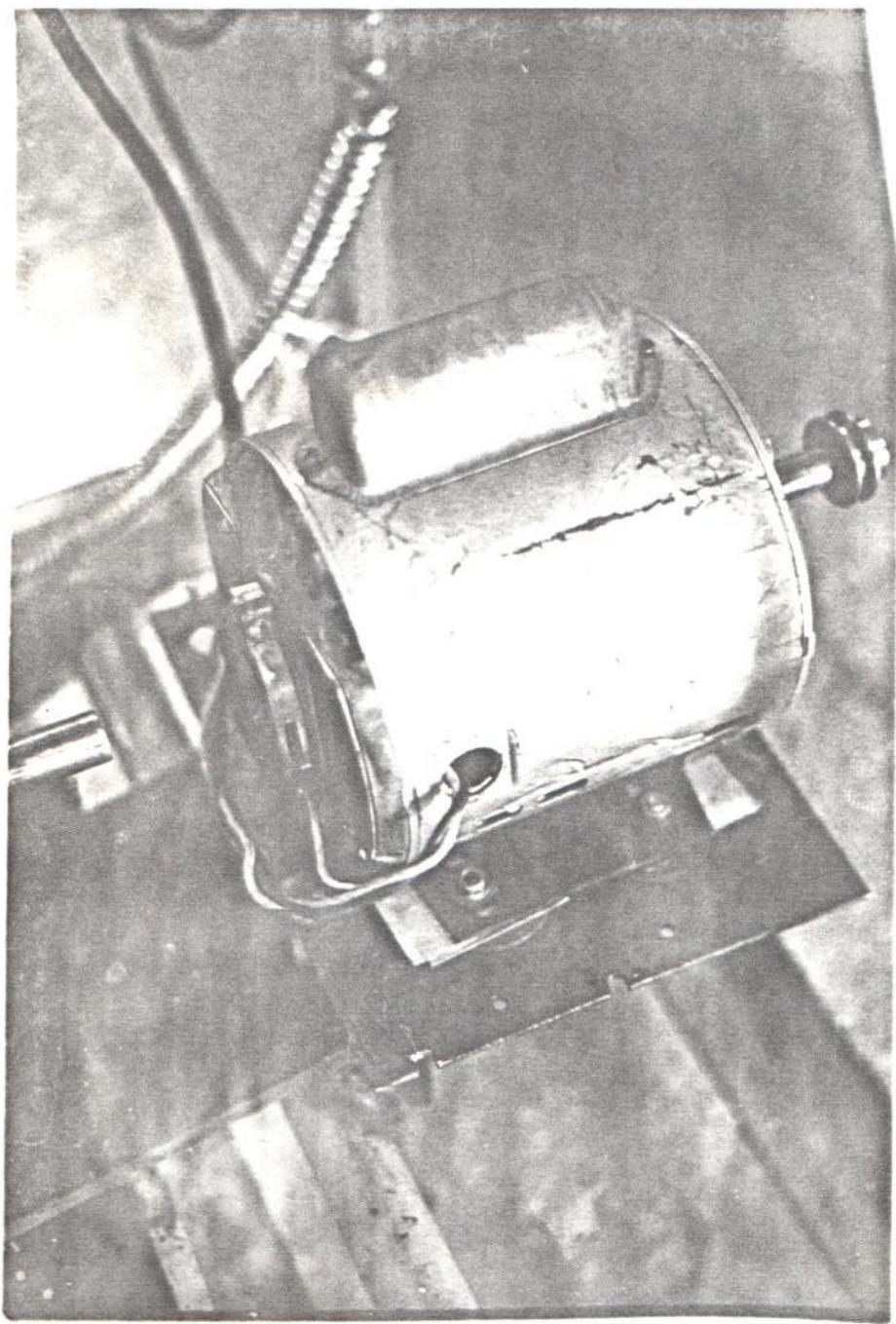


FIGURA A.- Prueba del Motor en Vacío

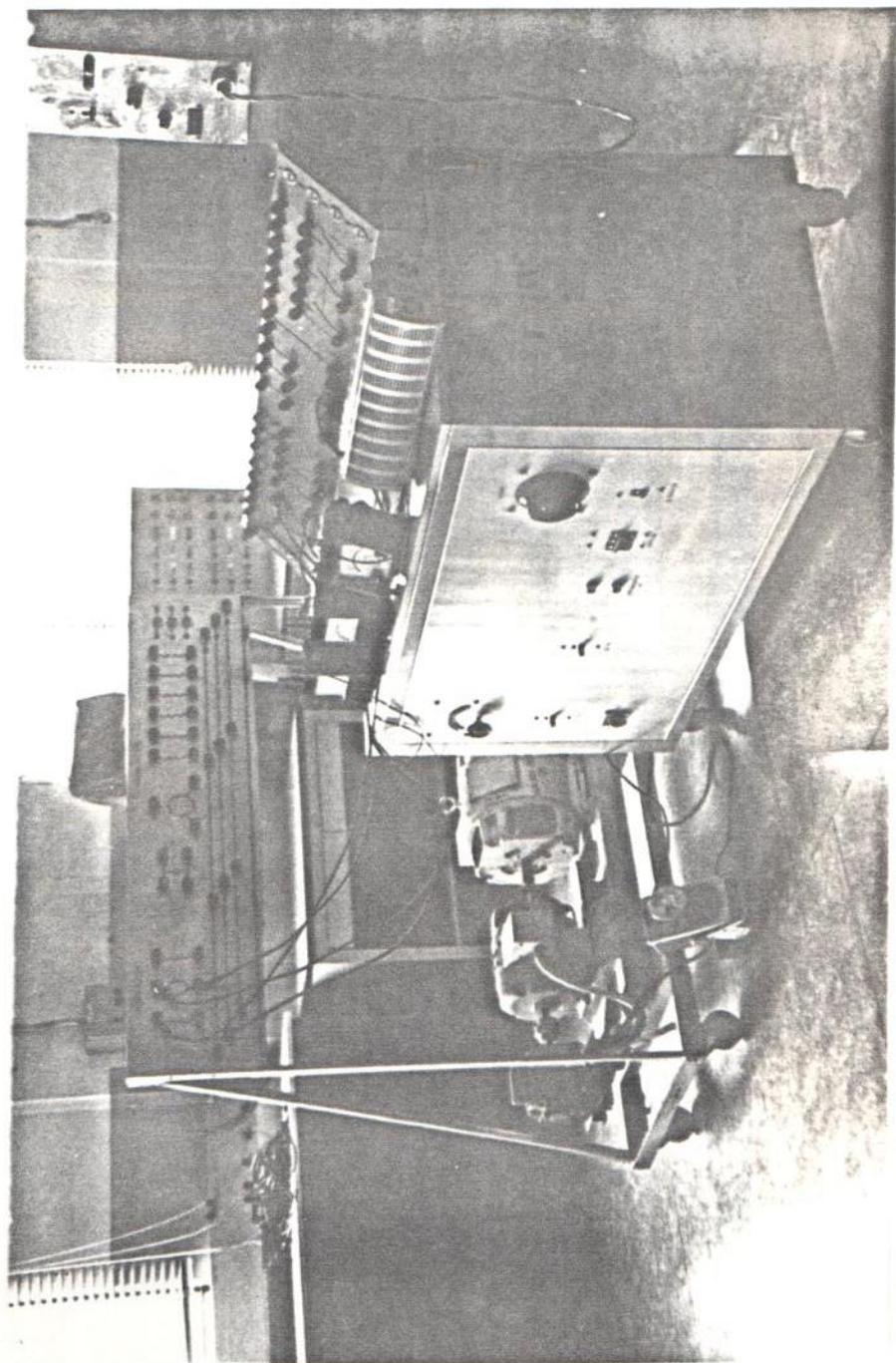


FIGURA B.- Prueba de Vacío Ideal (Velocidad de Sincronismo).

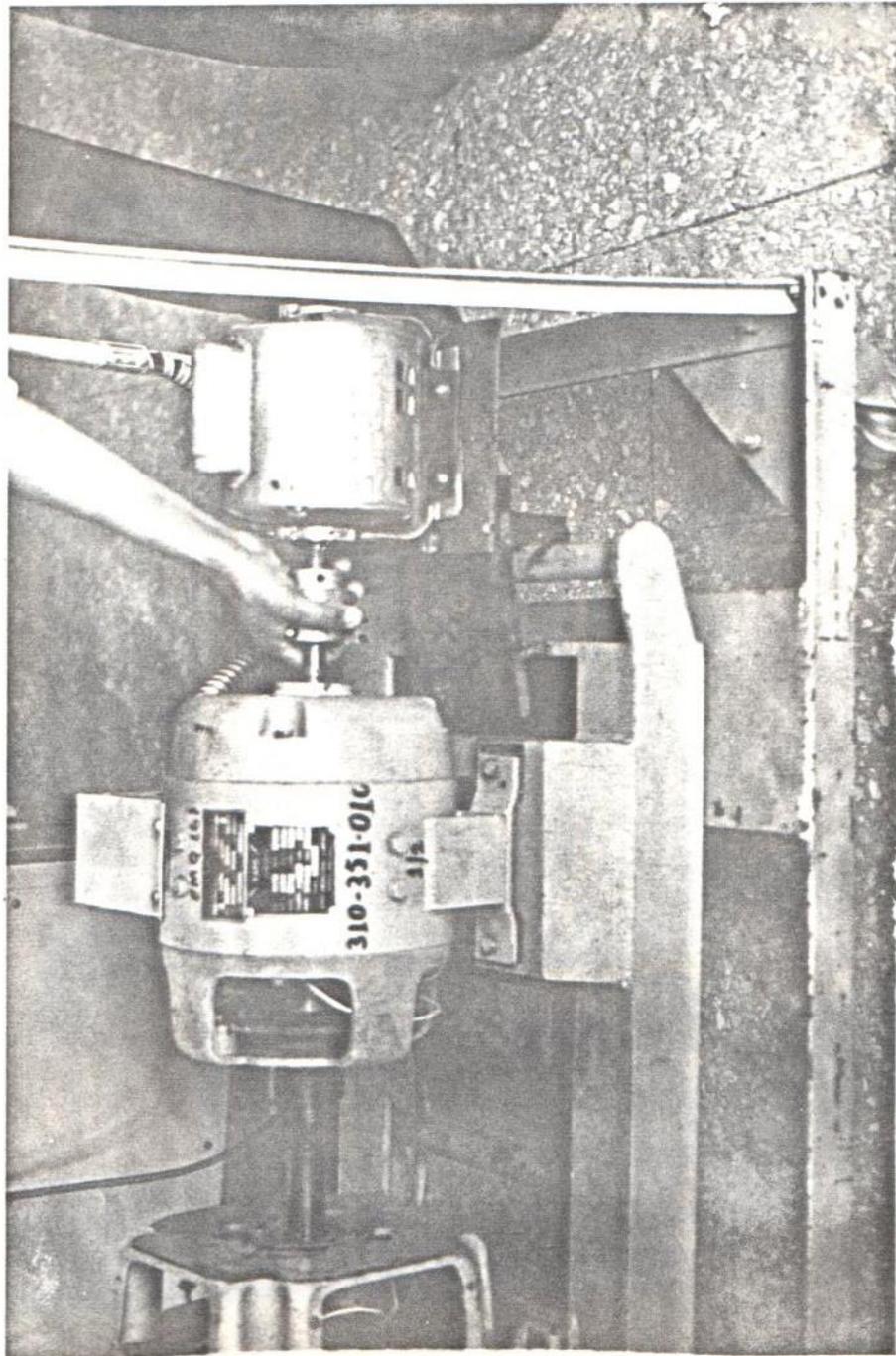


FIGURA C.-

Prueba de Rotor Bloqueado

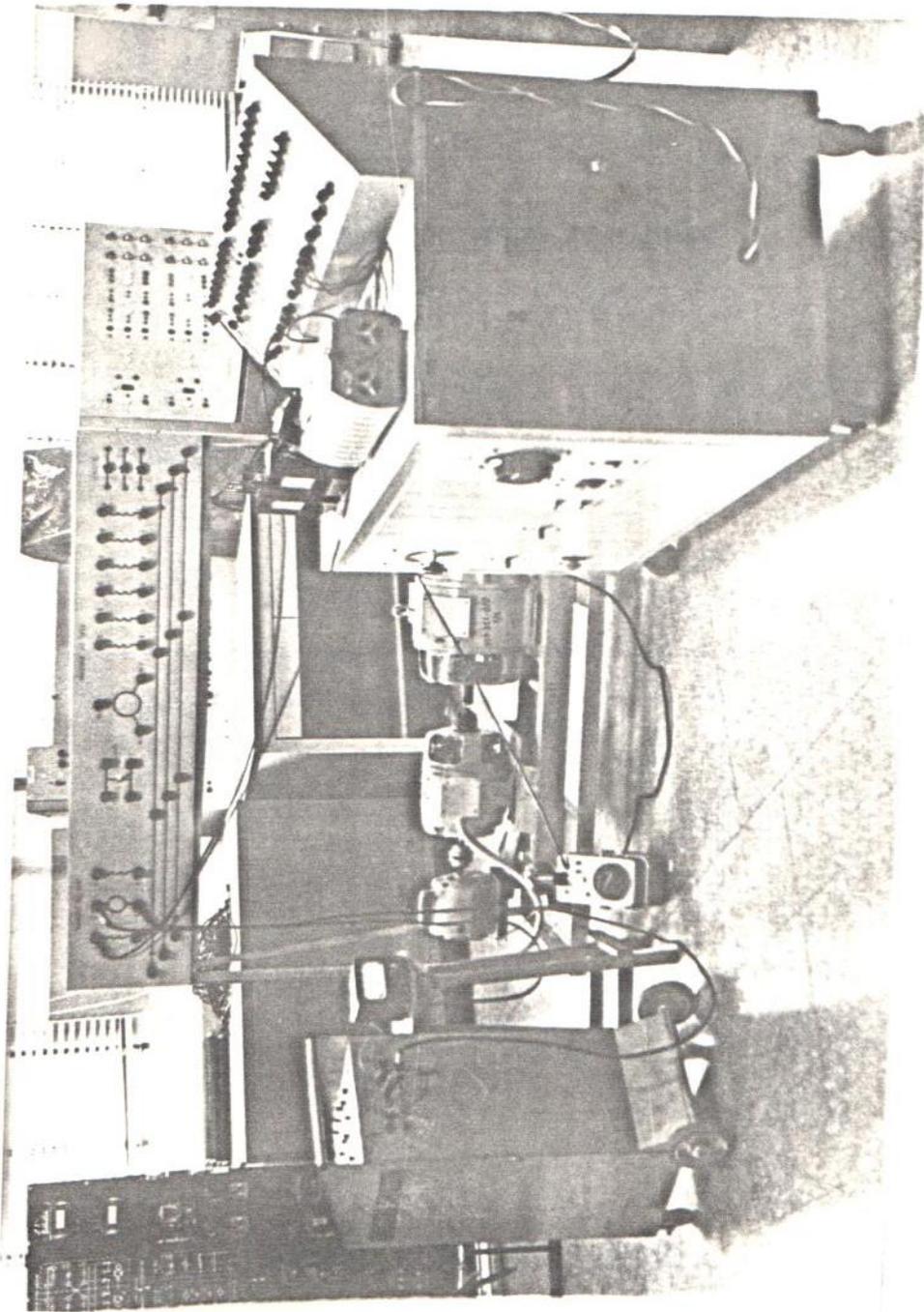
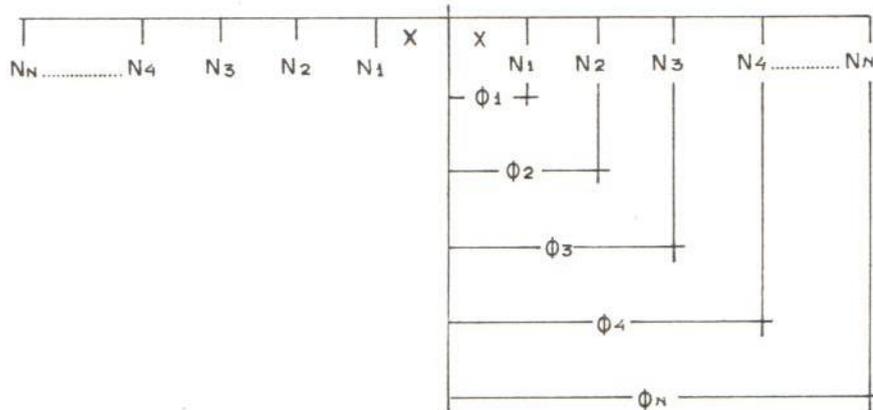


FIGURA D.- Prueba del Motor con Carga.

A P E N D I C E A

FACTOR DE ARROLLAMIENTO
PARA DEVANADOS MONOFASICOS

El factor de arrollamiento para motores monofásicos, con bobinas concéntricas, es igual a:



$$\text{Factor de Arrollamiento} = \frac{N_1 \text{sen} \phi_1 + N_2 \text{sen} \phi_2 + N_3 \text{sen} \phi_3 + N_4 \text{sen} \phi_4 + \dots + N_n \text{sen} \phi_n}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 \dots N_n}$$

El factor de arrollamiento del devanado de régimen es:

$$K_w = \frac{1 \text{sen} 30 + 2 \text{sen} 50 + 2 \text{sen} 70 + 1 \text{sen} 90}{1 + 2 + 2 + 1}$$

$$k_w = 0.8185$$

El factor de arrollamiento del devanado de arranque es:

$$K_{wa} = \frac{1\text{sen}40 + 2\text{sen}60 + 2\text{sen}80}{1 + 2 + 2}$$

$$K_{wa} = 0.868$$

Con el factor de arrollamiento se determina el número real de conductores en un devanado donde tenemos que:

$$\text{Conductores reales} = \frac{\text{conductores efectivos}}{\text{factor de arrollamiento}}$$

$$Z = \frac{Z_{kw}}{K_w}$$

A P E N D I C E B

MATERIALES CONDUCTORES

La resistividad constituye la propiedad más importante de un conductor desde el punto de vista eléctrico. Su valor esencialmente depende:

- 1.- Naturaleza del material
- 2.- Temperatura de funcionamiento

El valor de la resistividad influye técnicamente sobre las caídas de tensión y sobre las pérdidas en los bobinados y como consecuencia, sobre el calentamiento de las máquinas y el rendimiento económico de éstas.

En los bobinados de máquinas eléctricas por su precio, se utilizan conductores de cobre y aluminio. En nuestro proyecto hemos usado de cobre ya que es un material de elevada conductividad eléctrica.

El cobre desde el punto de vista mecánico posee excelentes propiedades: es muy flexible y fácil de curvar sin peligro de roturas; además, la acción del aire no produce fácilmente oxidación. En los bobinados para máquinas eléctricas se emplea casi siempre el cobre recocido.

El aluminio se emplea, sobre todo cuando se trata de aprovechar la ventaja de su menor peso respecto al cobre, para una misma conductividad. Son fundidos a presión, en los rotores de jaula de ardilla, en este caso ofrece una construcción sólida y económica que el cobre, proporciona una mayor seguridad de funcionamiento durante el período de sobrecarga, si se tiene en cuenta su capacidad térmica y la ausencia de soldadura.

A P E N D I C E C

MATERIALES AISLANTES

Los materiales aislantes empleados en los bobinados de máquinas eléctricas son de características físicas y mecánicas muy variadas y su elección esencialmente depende de la parte del bobinado a que vayan destinados. Por lo cual en una máquina eléctrica deben disponerse los siguientes tipos de aislamientos diferentes:

- 1.- Aislamiento de conductores que separa los conductores entre sí.

Los conductores utilizados en los bobinados de máquinas eléctricas van generalmente recubiertos de un material aislante textil impregnado o de una capa de barniz.

En los motores fraccionarios es recomendable usar el conductor aislado con capas de esmalte, debido al menor diámetro del hilo conductor.

- 2.- Aislamiento de la ranura que aisla del hierro todo el devanado y que al introducirse las bobinas, protege al aislante del conductor.

Actualmente casi todos los materiales usados para aislamiento de ranura en máquinas que deben trabajar en clase térmica E (temperatura máxima de funcionamiento a 120°C) están constituidos por cartones impregnados de diversas resinas sintéticas, entre las que destacan las constituidas a base de poliéster que, no solamente tienen unas propiedades dieléctricas excelentes sino que, además, presentan una gran resistencia al rasgado del aislante.

- 3.- Aislamiento entre dos lados de bobinas distintas usadas en una misma ranura.

El material aislante que se emplea para la separación de dos lados de bobina es normalmente el mismo material que se usa en las ranuras.

- 4.- Aislamiento de la cuña de cierre. Para la fabricación de las cuñas de cierre se emplean diversos materiales, que además de soportar los esfuerzos mecánicos, sean buenos aislantes; entre los materiales más usados podemos mencionar la madera y la fibra.

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

- 1.- Alger P., Máquinas de Inducción, 1965, 518 p.
- 2.- Enciclopedia CEAC De Electricidad, Taller Electromecánico bobinados, 1978, 1163p.
- 3.- Graham K., Teoría y Práctica de motores de potencia fraccionaria, 1963, 33p.
- 4.- Kuhlmann J., Diseño de Aparatos Eléctricos, 1959, 559p.
- 5.- Langsdorf A., Teoría de las máquinas de corriente alterna, 1971, 701p.
- 6.- Liwschitz M., Máquinas de Corriente Alterna, 1976, 767p.
- 7.- Matsch L., Máquinas Electromecánicas y electromagnéticas, 1972, 523p.
- 8.- Veinott C., Teoría y Diseño de Motores de Inducción Fraccionario, 1959, 477p.