



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"REDISEÑO DEL DEVANADO DEL ESTATOR EN MOTORES DE
INDUCCION TRIFASICA JAULA DE ARDILLA".

Tesis de Grado

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION: POTENCIA

Presentada por :

MARCO LORO GALVEZ



D-7080

Guayaquil - Ecuador

1.986

T
621.3136
T686.

AGRADECIMIENTO

AL ING. GUSTAVO BERMUDEZ FLORES
DIRECTOR DE IESIS, POR SU AYUDA
Y COLABORACION PARA LA REALIZA-
CION DE ESTE TRABAJO.

D E D I C A T O R I A

- A MIS PADRES

- A MIS HERMANOS

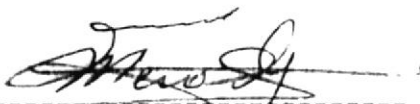
DECLARACION EXPRESA

"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".

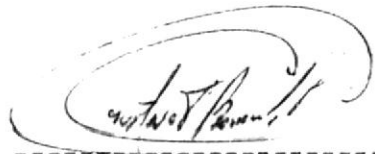
(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL).



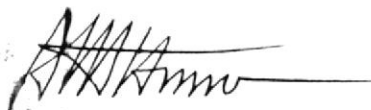
MARCO TORO GALVEZ



ING. CRISTOBAL MERA G.
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
ELECTRICA



ING. GUSTAVO BERMUDEZ FLORES
DIRECTOR DE TESIS



ING. ALBERTO HANZE BELLO
MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL



ING. JORGE FLORES MACIAS
MIEMBRO SUPLENTE DEL TRIBUNAL





BIBLIOTECA

RESUMEN

el presente
El presente trabajo está orientado a la utilización del material magnético del estator en motores de inducción trifásicos con rotor jaula de ardilla (MIJA).

Para conseguir el objetivo propuesto, se desarrolla un método computacional de cálculo para el rediseño del devanado del estator a partir del núcleo magnético, denominado Programa TOR1, el cual básicamente determina:

- a. Número de espiras por bobina
- b. Parámetros del motor de inducción
- c. Características de operación
- d. Especificaciones del devanado

Para verificar el método anterior, se procede a realizar el rediseño para un motor de 3HP, para el cual sus características teóricas de operación son com

VII

probadas por los métodos siguientes:

1. De Pruebas Experimentales obtenidas en un banco de pruebas.
2. Del Diagrama de Círculo, obtenido mediante la aplicación del programa denominado "PTOR2" presentado en la presente tesis.



INDICE GENERAL

	<u>PAGS.</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XIII
INDICE DE TABLAS -----	XVII
INDICE DE ABREVIATURAS -----	XIX
INTRODUCCION -----	24
CAPITULO I	
FUNDAMENTOS EN EL REDISEÑO DE MOTORES	
1.1. CASOS TIPICOS DE REDISEÑO -----	28
1.2. CRITERIOS PRINCIPALES EN EL REDISEÑO -----	29
1.3. CONSIDERACIONES PARA EL CALCULO DEL DEVANADO -----	32
1.4. METODO DE CALCULO -----	35
1.5. DIMENSIONES -----	36
1.5.1. Dimensiones del estator -----	37
1.5.2. Dimensiones del rotor -----	41
1.6. VERIFICACION DE POTENCIA UTIL -----	42
1.7. DENSIDADES DE FLUJO -----	45
1.7.1. Densidad de flujo en entrehierro -----	45

	<u>PÁGS.</u>
1.7.2. Densidad de flujo en dientes -----	47
1.7.3. Densidad de flujo en corona -----	49
1.7.4. Densidad de flujo en dientes y corona del rotor -----	51
1.8. FLUJO MAGNÉTICO POR POLO -----	51
1.9. NÚMERO TOTAL DE CONDUCTORES POR FASE -----	52
1.10. DIMENSIONES DEL CONDUCTOR -----	53
1.10.1. Área neta o útil de la ranura -----	54
1.10.2. Coeficiente de relleno -----	57
1.10.3. Diámetro exterior del conductor -----	58
1.10.4. Densidad de corriente del estator -----	59
 CAPITULO II	
DETERMINACION TEORICA - EXPERIMENTAL DE PARAMETROS - <u>PER</u> DIDAS Y CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO	
2.1. RESISTENCIA DEL DEVANADO PRIMARIO -----	63
2.2. RESISTENCIA DEL DEVANADO DEL ROTOR -----	64
2.3. REACTANCIA MAGNETIZANTE -----	68
2.4. REACTANCIA DE DISPERSION -----	71
2.4.1. Reactancia de dispersión de ranuras -----	73
2.4.2. Reactancia de Zig - Zag -----	78
2.4.3. Reactancia de zorra -----	78
2.4.4. Reactancia de terminales -----	79
2.4.5. Reactancia de sesgo -----	82
2.4.6. Reactancia primaria y secundaria -----	83

	<u>PAGS.</u>
2.5. RESISTENCIA MAGNETIZANTE -----	33
2.6. CALCULO DE PERDIDAS -----	34
2.6.1. Pérdidas de cobre del estator y rotor -----	85
2.6.2. Pérdidas en el núcleo del estator y rotor----	85
2.6.3. Pérdidas de hierro rotacionales del estator y rotor -----	87
2.6.4. Pérdidas por fricción y ventilación -----	88
2.6.5. Pérdidas de carga dispersa -----	89
2.7. CALCULO DE CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO -----	90
2.7.1. Condiciones de arranque -----	91
2.7.2. Condiciones nominales -----	92
2.7.3. Condiciones máximas -----	93
2.8. CARACTERISTICAS DEL DEVANADO -----	93
2.9. CALCULO EXPERIMENTAL DE LOS PARAMETROS Y PERDIDAS --	96
2.9.1. Resistencia del devanado del estator -----	97
2.9.2. Prueba de vacio ideal -----	99
2.9.3. Prueba de vacio normal -----	102
2.9.4. Prueba de rotor bloqueado a tensión reducida-	104
2.9.5. Pérdidas por fricción - ventilación -----	113
2.9.6. Perdidas de Carga Dispersa -----	116
2.9.7. Pérdidas de hierro rotacionales -----	119
2.10. CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO -----	120
2.10.1. Diagrama de círculo -----	121
2.10.2. Construcción del Diagrama de Círculo -----	122
2.10.3. Características de funcionamiento a partir - del Diagrama de Círculo -----	126

	<u>PAGS.</u>
2.10.4. Pruebas de carga -----	128
 CAPITULO III	
METODO COMPUTACIONAL PARA EL REDISEÑO	
3.1. PROGRAMA "TOR1"-----	132
3.1.1. Objetivos -----	132
3.1.2. Generalidades -----	133
3.1.3. Procedimiento -----	134
3.2. SUBROUTINA FASE -----	140
3.2.1. Procedimiento -----	140
3.3. ARCHIVO DE DATOS "DTABLA" -----	142
3.4. ARCHIVO DE DATOS "DTOR1" -----	142
3.5. DIAGRAMA DE FLUJO -----	142
3.6. PROGRAMA TOR2 -----	143
3.6.1. Objetivos -----	143
3.6.2. Generalidades -----	161
3.6.3. Procedimiento -----	161
3.7. ARCHIVO DE DATOS "DTOR2" -----	163
3.8. DIAGRAMA DE FLUJO -----	163
 CAPITULO IV	
REDISEÑO DE UN MOTOR PARA 3HP Y TRAZADO DEL DIAGRAMA DE CIR CULO	
4.1. APLICACION DE PROGRAMA "TOR1" -----	170
4.1.1. Características de operación -----	171
4.1.2. Características del devanado -----	171

	<u>PAGS.</u>
4.1.3. Dimensiones del circuito magnético del estator-	172
4.1.4. Dimensiones del circuito magnético del rotor --	172
4.1.5. Constantes de curvas y tablas -----	173
4.2. CALCULO EXPERIMENTAL DE PARAMETROS Y PERDIDAS DEL <u>MO</u> TOR REDISEÑADO -----	175
4.2.1. Resistencia del estator -----	182
4.2.2. Prueba de vacío ideal -----	182
4.2.3. Prueba de tensión reducida -----	182
4.2.3.1. Parámetros no saturados -----	183
4.2.3.2. Parámetros saturados -----	184
4.2.4. Pérdidas por fricción - ventilación -----	187
4.2.5. Pérdidas de carga dispersa -----	189
4.2.6. Pérdidas de hierro rotacionales -----	192
4.3. PRUEBA DE CARGA DEL MOTOR REDISEÑADO -----	194
4.4. OSCILOGRAMAS DE CORRIENTE -----	197
4.5. COMPROBACION ENTRE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y TEORICAS DE DISEÑO -----	204
4.6. AJUSTE DE VALORES TEORICOS RESPECTO A EXPERIMENTALES	207
4.7. TRAZADO DEL DIAGRAMA DE CIRCULO -----	217
4.8. CARACTERISTICAS DEL DIAGRAMA DE CIRCULO -----	218
4.9. COMPROBACION ENTRE CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES - <u>DIA</u> GRAMA DE CIRCULO Y TEORICAS DE REDISEÑO -----	224
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	226
ANEXOS -----	230
BIBLIOGRAFIA -----	251

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
CAPITULO I		
1.1.	DIMENSIONES DEL NUCLEO DEL ESTATOR-	38
1.2.	CANALES AXIALES DE VENTILACION ----	38
1.3.	CORTE DE CANALES TRANSVERSALES DE VENTILACION -----	39 39
1.4.	(a),(b) y (c): TIPOS DE RANURAS DEL ESTATOR -----	39 39
1.5.	(a) y (b) DIENTES DE SECCION UNIFORME Y NO UNIFORME -----	40 40
1.6.a.	ANILLO TERMINALES DEL ROTOR JAULA - DE ARDILLA -----	40 40
1.6.b.	BARRA DEL ROTOR JAULA DE ARDILLA --	43
1.6.c y d.	TIPOS DE RANURAS DEL ROTOR -----	43
CAPITULO II		
2.1.	FACTORES DE EFECTO PELICULAR (EPX2 y EPR2) -----	66 66

XIV

15

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
2.2.	TRAYECTORIAS DE FLUJOS DE DISPERSION	72
2.3.	(a) y (b) FACTOR CONSTANTE DE RANURA DEL ESTATOR -----	75 76
2.4.	FACTOR DE ZONA -----	80
2.5.	FLUJO DE DISPERSION DE LA CONEXION - TERMINAL -----	81
2.6.	CURVA PARA CALCULAR LAS PERDIDAS DEL HIERRO EN MOTORES -----	86
2.7.	CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE IN DUCCION -----	90
2.8.	DIAGRAMA DE FLUJO DE POTENCIA -----	90
2.9.	DIMENSIONES DE LA BOBINA -----	95
2.10.	MEDICION DE RESISTENCIA DEL ESTATOR-	98
2.11.	DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBA - DE VACIO IDEAL -----	100 100
2.12.	CIRCUITO EQUIVALENTE PARA VACIO IDEAL	101
2.13.	DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBA - DE VACIO NORMAL -----	103
2.14.	DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE ROTOR BLOQUEADO -----	105
2.15.	CIRCUITO EQUIVALENTE A ROTOR BLOQUEA DO -----	107
2.16.	CURVA CARACTERISTICA DE ICC Vs. VCC-	111

<u>II^o -</u>		<u>PAGS.</u>
2.17.	CURVA CARACTERISTICA DE P_{CC} / V_{CC} Vs. V_{CC}	111
2.18.	CURVA CARACTERISTICA Σ PERDIDAS Vs. V_{FASE}	115
2.19.	DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBA - DE PERDIDAS CARGA DISPERSA -----	116
2.20.	CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL MOTOR DE INDUCCION -----	122
2.21.	DIAGRAMA DE CIRCULO -----	125
2.22.	CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL DIAGRAMA DE CIRCULO -----	128
2.23.	DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE CARGA -----	129
CAPITULO IV		
4.1.	CARACTERISTICA DE ROTOR BLOQUEADO EXPERI MENTAL I_{CC} Vs. V_{CC} .-----	184
4.2.	CARACTERISTICA DE ROTOR BLOQUEADO EX PERIMENTAL P_{CC}/V_{CC} Vs. V_{CC} -----	186
4.3.	CARACTERISTICA DE VACIO EXPERIMENTAL-	188
4.4.	CARACTERISTICA DE PRUEBA DE CARGA - DISPERSA EXPERIMENTAL -----	191
4.5.	CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO - EXPERIMENTALES -----	198
		198

XVI

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
4.6.	REGISTRO DE TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR -----	199
4.7.	OSCILOGRAMA DE CORRIENTE DE VACIO---	
4.8.	OSCILOGRAMA DE CORRIENTE A PLENA CAR GA -----	202
4.9.	OSCILOGRAMA DE CORRIENTE DE ARRANQUE	203
4.10.	CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO - DEL DIAGRAMA DE CIRCULO -----	223

INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
CAPITULO I		
1.1.	SELECCION DE COEFICIENTE DE UTILIZA CION -----	4.
1.2.	ESPACIO PARA AISLAMIENTO DE LAS RA NURAS-----	55
CAPITULO II		
2.1.	CONSTANTE DE ZONA DE FASE -----	77
2.2.	DATOS DE PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO--	110
2.3.	DATOS DE PERDIDAS POR FRICCIÓN - VEN TILACION -----	115
2.4.	DATOS DE PRUEBA DE PERDIDAS DE CARGA DISPERSA -----	118
2.5.	DATOS DE PRUEBA DE ENSAYOS EN CARGA-	131
CAPITULO IV		
4.1.	DATOS DE PRUEBA A TENSION REDUCIDA -	183
4.2.	DATOS DE PRUEBA DE VACIO NORMAL ----	187

XVIII

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
4.3.	DATOS DE PRUEBA DE CARGA DISPERSA	190
4.4.	DATOS DE PRUEBA DE CARGA -----	195
4.5.	CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES Y TEORICAS DE DISEÑO -----	204
4.6.	PARAMETROS EXPERIMENTALES Y TEORI COS DE DISEÑO -----	206
4.7.	VALORES DE LOS FACTORES DE CORREC CION -----	207
4.8.	CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES Y TEORICAS DEL DISEÑO -----	208
4.9.	PARAMETROS EXPERIMENTALES Y TEORI CAS DE DISEÑO -----	216
4.10.	CARACTERISTICAS DEL DIAGRAMA DE - CIRCULO -----	221
4.11.	CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES - DIAGRAMA DE CIRCULO Y TEORICAS DE DISEÑO -----	225

INDICE DE ABREVIATURAS

A:	NUMERO DE CIRCUITOS EN PARALELO
ANCHO:	ANCHURA DE LA BOBINA EN CM.
Ap0:	AREA POLAR MAGNETICO EN CM ²
ASES:	ANGULO DE SESGO DE LA BARRA DEL ROTOR EN ° E
A1:	DIMENSION DE LA BOBINA EN CM.
Bc:	DENSIDAD DE FLUJO MAGNETICO EN LA CORONA EN GAUSS
Bd:	DENSIDAD DE FLUJO MAXIMO EN DIENTES EN GAUSS
CANI:	CONSTANTE DE LOS ANILLOS TERMINALES DEL ROTOR
CD1:	LONGITUD DE LA CARA DEL DIENTE DEL ESTATOR EN CM.
CD2:	LONGITUD DE LA CARA DEL DIENTE DEL ROTOR EN CM.
CMAG:	CONSTANTE DE MAGNETIZACION
Co:	DIMENSION DE LA BOBINA EN CM.
CR:	NUMERO DE CONDUCTORES EN LA RANURA
CRANE:	CONSTANTE DE RANURA TOTAL
CREA:	CONSTANTE DE REACTANCIA
CRA1:	CONSTANTE DE RANURA DEL ESTATOR
CRA2:	CONSTANTE DE RANURA DEL ROTOR
CSES:	CONSTANTE DE SESGO
CSF:	NUMERO DE CONDUCTORES EN SERIE POR FASE
CZF:	CONSTANTES DE ZONA DE FASE
CZZ:	CONSTANTE DE ZIG-ZAG
DCA:	DIAMETRO ENTRE CENTROS DE LA BARRA DEL ROTOR EN CM.
DCON:	DIAMETRO DEL CONDUCTOR DESNUDO EN MM.
DD:	CONSTANTE DE LA BOBINA DEL ESTATOR
DEM:	DIAMETRO MEDIO DEL ESTATOR EN CM.
DEXT:	DIAMETRO DEL CONDUCTOR AISLADO EN MM.

DIA:	DIAMETRO INTERIOR DE LOS ANILLOS EN CM.
D1:	DIAMETRO INTERIOR DEL ESTATOR EN CM.
D2:	DIAMETRO EXTERIOR DEL ROTOR EN CM.
D10,D11,D14:	DIMENSIONES DE LA RANURA DEL ESTATOR EN CM.
D20,D24:	DIMENSIONES DE LA RANURA DEL ROTOR EN CM.
EE:	TENSION CONTRAELECTROMOTRIZ POR FASE EN VOLTIOS
EMAX:	AMPLITUD MAXIMA DE LA BOBINA DEL ESTATOR EN CM.
EPR2:	EFEECTO PELICULAR EN LA RESISTENCIA DEL ROTOR
EPX2:	EFEECTO PELICULAR EN LA REACTANCIA DEL ROTOR
ESF:	NUMERO DE ESPIRAS EN SERIE POR FASE
E1:	CONSTANTE DE LA RANURA DEL ESTATOR
F:	FRECUENCIA DE LA LINEA EN CICLOS/SEG.
FCA:	FACTOR DE CORRIENTE ALTERNA EN RESISTENCIA DEL ESTATOR
FFP:	FACTOR DE FLUJO PRIMARIO
FKT:	FACTOR DE CARTER TOTAL
FK1:	FACTOR DE CARTER DE LA RANURA DEL ESTATOR
FK2:	FACTOR DE CARTER DE LA RANURA DEL ROTOR
Fp:	FACTOR DE POTENCIA
FRELL:	FACTOR DE RELLENO
FR2:	FACTOR DE LA RESISTENCIA DEL ROTOR
FSES:	FACTOR DE SESGO
FWC:	FACTOR DE PERDIDAS MAGNETICAS EN LA CORONA EN VATIOS/KG/CM
FWD:	FACTOR DE PERDIDAS MAGNETICAS EN LOS DIENTES EN VATIOS/KG/CM
FZONA:	FACTOR DE ZONA
G:	LONGITUD DEL ENTREHIERRO EN CM.
H:	ALTURA DE LA BOBINA EN CM.
HILOS:	NUMERO DE CONDUCTORES EN PARALELO
Im:	CORRIENTE MAGNETIZANTE EN AMPERIOS
Io:	CORRIENTE DE VACIO EN AMPERIOS
ITP:	CORRIENTE DE ARRANQUE A PLENA TENSION EN AMPERIOS
ITR:	CORRIENTE A TENSION REDUCIDA EN PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO EN AMPERIOS.
I1,I2,I3:	CORRIENTE POR FASE "A", "B" y "C", RESPECTIVAMENTE EN AMPERIOS
kd:	FACTOR DE DISTRIBUCION DEL DEVANADO

kp:	FACTOR DE PASO DEL DEVANADO
LB:	LONGITUD DE LA BARRA EN CM.
LBS:	LONGITUD DE LA BARRA SESGADA EN CM.
LF:	LONGITUD DEL PAQUETE DE CHAPAS EN CM.
Ln:	LONGITUD NETA DEL PAQUETE DE CHAPAS EN CM.
LC:	LONGITUD CORREGIDO DEL PAQUETE DE CHAPAS EN CM.
LR:	LONGITUD RECTA DE LA BOBINA EN CM.
M:	NUMERO DE FASES DEL ESTATOR
Nran1:	NUMERO DE RANURAS DEL ESTATOR
Nran2:	NUMERO DE RANURAS DEL ROTOR
Pc:	PERDIDAS MAGNETICAS EN LA CORONA
Pcd:	PERDIDAS POR CARGA DISPERSA
P _{cu1} :	PERDIDAS POR COBRE EN EL ESTATOR
P _{cu2} :	PERDIDAS POR COBRE DEL ROTOR
Pd:	PERDIDAS MAGNETICAS EN LOS DIENTES
Pent:	POTENCIA ELECTRICA ABSORBIDA POR EL MOTOR EN VATIOS
Ptotal:	PESO TOTAL DEL CONDUCTOR EN KG
Pfrot :	PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES
Pf+v:	PERDIDAS POR FRICCION MAS VENTILACION
Ph+E:	PERDIDAS POR HISTERISIS Y CORRIENTE DE EDDY EN VATIOS
Pmdc:	POTENCIA MECANICA UTIL DE UNA MAQUINA DC
Pmdes:	POTENCIA MECANICA DESARROLLADA
Pto:	POTENCIA TOTAL EN VACIO EN VATIOS
Ptp:	POTENCIA DE ARRANQUE A TENSION PLENA EN VATIOS
Ptr:	POTENCIA DE TENSION REDUCIDA EN PRUEBA DE ROTOR ELOQUEADO EN VATIOS
Putil:	POTENCIA UTIL DEL MOTOR EN VATIOS
Pwc:	PERDIDAS MAGNETICAS EN LA CORONA EN VATIOS
Pwd:	PERDIDAS MAGNETICAS EN LOS DIENTES EN VATIOS
P120:	PASO DEL DEVANADO ENTRE FASES DEL ESTATOR
R:	DIMENSION DE LA BOBINA DEL ESTATOR EN CM.
Ran1:	RESISTENCIA DEL ANILLO TERMINAL DEL ROTOR EN OHMIOS
Rbar:	RESISTENCIA DE LA BARRA DEL ROTOR EN OHMIOS
rend:	EFICIENCIA

Resb:	RESISTIVIDAD ELECTRICA DE LA BARRA
R _M :	RESISTENCIA MAGNETIZANTE EN OHMIOS
R _o :	RESISTENCIA A CIRCUITO ABIERTO EN OHMIOS
RPM:	REVOLUCIONES POR MINUTO EN LA FLECHA
RpMAX:	REVOLUCIONES POR MINUTO A DESLIZAMIENTO MAXIMO
R ₁ :	RESISTENCIA POR FASE DEL ESTATOR EN OHMIOS
R ₂ ' :	RESISTENCIA DEL ROTOR REFERIDO AL ESTATOR POR FASE EN OHMIOS
AS	DESLIZAMIENTO
SA:	SECCION DEL ANILLO DEL ROTOR EN MM ²
SB:	SECCION DE LA BARRA DEL ROTOR EN MM ²
SC:	SECCION DE LA CORONA DEL ESTATOR EN CM ²
SD:	SECCION DEL DIENTE DEL ESTATOR EN CM ²
SFM:	FACTOR DE SATURACION
SG:	SECCION DEL ENTREHIERRO EN CM ²
SK:	LONGITUD SESGADA DE LA BARRA DEL ROTOR EN CM
SM:	LONGITUD DE LA ESPIRA MEDIA EN CM.
SMAX:	DESLIZAMIENTO MAXIMO
TA:	TEMPERATURA DEL AMBIENTE EN ° C
TARR:	TORQUE DE ARRANQUE EN Kg-mt.
TDC:	TORQUE UTIL DE LA MAQUINA DC EN Kg-mt
TGRUP:	NUMERO DE GRUPOS POR POLO POR FASE TOTALES
TLG.	TRAYECTORIA DE LA LONGITUD MAGNETICA EN CM.
TMAX:	TORQUE MAXIMO EN Kg-mt.
Tn:	TORQUE NOMINAL EN Kg-mt
VDC:	VOLTAJE DE CORRIENTE CONTINUA EN VOLTIOS
VFASE:	VOLTAJE DE CORRIENTE ALTERNA POR FASE EN VOLTIOS
VLL:	VOLTAJE DE LINEA A LINEA EN VOLTIOS
VSIN:	VELOCIDAD SINCRONA EN REVOLUCIONES POR MINUTO
VTP:	VOLTAJE A PLENA TENSION EN VOLTIOS
VTR:	VOLTAJE A TENSION REDUCIDA EN VOLTIOS
V ₁ ,V ₂ ,V ₃ :	VOLTAJES POR FASE EN VOLTIOS
WD:	ANCHO DEL DIENTE EN CM.
W ₁ ,W ₂ ,W ₁₀ ,	
W ₁₁ ,W ₁₃ :	DIMENSIONES DE LA RANURA DEL ESTATOR

W20, W23:	DIMENSIONES DE LA RANURA DEL ROTOR
XM:	REACTANCIA MAGNETIZANTE POR FASE
X0:	REACTANCIA A CIRCUITO ABIERTO POR FASE EN OHMIOS
XSES:	REACTANCIA DE SESGO POR FASE EN OHMIOS
XTER:	REACTANCIA TERMINALES POR FASE EN OHMIOS
XTOTAL:	REACTANCIA TOTAL POR FASE EN OHMIOS
XZONA:	REACTANCIA DE ZONA POR FASE EN OHMIOS
XZZ:	REACTANCIA DE ZIG-ZAG POR FASE EN OHMIOS
X1:	REACTANCIA PRIMARIA POR FASE EN OHMIOS
X1NS:	REACTANCIA PRIMARIA NO SATURADA POR FASE EN OHMIOS
X1S:	REACTANCIA PRIMARIA SATURADA POR FASE EN OHMIOS
X2':	REACTANCIA DEL ROTOR REFERIDA AL ESTATOR POR FASE EN OHMIOS
X2NS:	REACTANCIA DEL ROTOR NO SATURADO REFERIDO AL ESTATOR POR FASE EN OHMIOS
X2S:	REACTANCIA DEL ROTOR SATURADA REFERIDA AL ESTATOR POR FASE EN OHMIOS
Ybob:	PASO DE BOBINA DEL ESTATOR
YDIE1:	PASO DEL DIENTE DEL ESTATOR
YDIE2:	PASO DEL DIENTE DEL ROTOR
ZT:	IMPEDANCIA DEL CIRCUITO EQUIVALENTE TOTAL POR FASE EN OHMIOS
Z1:	IMPEDANCIA PRIMARIA POR FASE EN OHMIOS
Z2:	IMPEDANCIA SECUNDARIA POR FASES EN OHMIOS
ρ_c :	RESISTIBILIDAD DEL CONDUCTOR EN $\frac{\text{Ohmios} \cdot \text{mm}^2}{\text{mt}}$
Φ	FLUJO POR POLO EN MAXWELLS.

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

Los motores de inducción, por su sencilla construcción, la facilidad de mantenimiento, su perfecto funcionamiento, lo asequible de su precio, tiene cada vez mayor demanda en las aplicaciones industriales.

Esta demanda en las aplicaciones industriales, hacen aumentar en consecuencia las reparaciones, modificaciones debido a cambios de tensiones, velocidades y características de carga.

Por otra parte, se ha observado también, que por diversas razones que se explican en el desarrollo de la presente tesis, disponen de la existencia de núcleos magnéticos del estator inutilizados, sin darles la debida importancia al uso práctico que se los puede destinar.

Por lo anterior y con la finalidad de utilizar el núcleo magnético del estator se desarrolla un Programa Computacional de Cálculo denominado "TOR1", para el

rediseño del devanado del estator de un motor de inducción con rotor Jaula de ardilla.

El programa "TOR1", básicamente es un método de sinte_{sis}, en el cual se adoptan valores razonables de densidades de flujo y densidades de corriente. Los cálculos principales son: número de espiras por bobina, parámetros del motor de inducción, características de funcionamiento y las especificaciones para el arrollamiento aplicado para un devanado imbricado a dos capas.

Con objeto de comprobar las características para las que fueron diseñadas, se describe el procedimiento para la determinación experimental de parámetros y características de funcionamiento de acuerdo a pruebas recomendadas por las normas internacionales (IEEE).

Para el caso de no disponer de un banco de pruebas se utiliza el programa computacional denominado "TOR2", para el trazado del diagrama de círculo y obtención de las características aproximadas a partir del grá-fico.

Por último a fin de verificar las fórmulas y técnicas de cálculo utilizadas en programa "TOR1", se pro

cede a realizar el rediseño de un motor de 3HP, para aplicaciones de propósitos generales.

Las características de funcionamiento experimentales serán determinadas en el Laboratorio de Maquinaria - Eléctrica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral y del gráfico del Diagrama de Círculo.

C A P I T U L O I

FUNDAMENTOS EN EL REDISEÑO DE MOTORES

El presente capítulo nos describe los critérios principales que deben ser considerados en el rediseño del devanado del estator.

Se indica el procedimiento en la toma de dimensiones y datos de los circuitos magnéticos del estator, círculo magnético del rotor y círculo eléctrico del rotor.

Se presenta el algoritmo del procedimiento de cálculo para la determinación del número de conductores de la bobina, los parámetros del motor y las características de funcionamiento.

Por último, para cada una de las magnitudes prin

cipales a determinarse, se da una breve descripción y el rango de valores sugeridos para ser asumido.

1.1. CASOS TIPICOS EN REDISEÑO

Los siguientes son casos típicos que requieren de un cálculo parcial o total del devanado.

- a. Errores en la toma de datos del devanado original, tales como diámetro del conductor y número de vueltas.
- b. Modificaciones del devanado para una nueva tensión de alimentación, velocidad o potencia de salida.
- c. El devanado del estator, en condiciones que no es posible averiguar sus características; no obstante, si la placa indicadora se halla intacta, suministrará las características necesarias que servirán de punto de partida para el cálculo.

- d. Ausencia del devanado y placa indicadora; lo cual requiere el cálculo completo total del devanado

De los casos anteriores, el caso (d) es objeto del presente trabajo.

1.2. CRITERIOS PRINCIPALES EN REDISEÑO.

Las consideraciones principales que deben tomarse en cuenta para enfocar el rediseño son:

- a. Diámetro y longitud de núcleo de Hierro laminado necesario para obtener la potencia deseada a la velocidad y voltaje dado.
- b. Flujo magnético o campo requerido para generar la tensión contraelectromotriz (EL), aproximadamente igual a la tensión aplicada (V_{LL}).
- c. Conocer rangos permisibles de las densidades Flujo magnético de dientes, Núcleo y entrehierro con el objeto de adoptar valores razonables
- d. Número de Espiras de conductores en serie de

devanado del Estator, el cual cuando es cortado por el campo giratorio genera la tensión contraeléc
trica.(EL)

e. Número y Area de las ranuras del Estator con ancho y profundidad para alojar el devanado - que estará aislado al voltaje requerido.

f. Conocer rangos permisibles de densidades de corriente, con objeto de adoptar valor razona
ble de acuerdo al tipo construcción, ventilación y clase de aislamiento en la selección - del diámetro del conductor.

g. La sección transversal de los conductores de
rá ser capaz de conducir la corriente requeri
da para desarrollar la potencia deseada al factor de potencia y eficiencia que el diseñador estime conveniente.

Con las anteriores consideraciones, es posible - realizar el diseño, que cumple los siguientes ob
jetivos.

a. Toque de arranque debe ser mayor al torque de carga, sin Absorber una cantidad de corriente anormal

- b. Mover la carga Mecánica en funcionamiento normal, con incremento razonable de temperatura.
- c. Poseer alta eficiencia.
- d. Capacidad de sobrecarga momentanea de 1,5 a 3 veces el torque Nominal.
- e. No poseer cantidad apreciable de ruido debido a problemas magnéticos.

Puede suceder que los objetivos anteriores, no se cumplan satisfactoriamente en uno o varios de los puntos anteriormente mencionados, debiendo sacrificar alguno de ellos, para obtener un normal comportamiento del motor.

La razón fundamental radica, en que el presente trabajo parte del hecho que se tiene un núcleo magnético del Estator y rotor Jaula de ardilla, quedando - únicamente por variar los dos factores siguientes:

- 1.- Número vueltas del devanado del Estator
- 2.- Diámetro del conductor o su sección transversal

1.3. CONSIDERACIONES PARA CALCULO DEL DEVANADO

Como paso previo al cálculo del devanado, deberá considerarse lo siguiente:

a. Definir características del devanado y condiciones de operación siguientes:

- 1) Voltaje de Línea (V_{LL}).
- 2) Frecuencia (F)
- 3) Número de polos (P)
- 4) Conexión polar (cpolar)
- 5) Conexión Eléctrica entre fases (CONE)
- 6) Paso de bobina (ybob)
- 7) Número de circuitos en paralelo (A)

b. Tomar dimensiones del motor a ser rediseñado, aplicando metodología que posteriormente se mencionará en la sección 5, del presente capítulo.

c. Obtener de las tablas enumeradas a continuación los valores a ser asumidos para los siguientes factores

- 1) El factor de aislamiento entre láminas del núcleo del Estator (K) de la tabla 1.1.



BIBLIOTECA

2) Las dimensiones para el aislamiento de la ranuras del estator (I_d , I_w) de la tabla 1.2.

3) El calibre y las especificaciones del Alambre de cobre tipo redondo del Anexo. A.

d. Asumir los valores de los siguientes factores - de acuerdo a criterios en las secciones correspondientes del presente capítulo.

1) El valor de la densidad de flujo en dientes (BD) en la sección 1.7.2.

2) El factor de relleno (FR) en la sección 1.10.2

3) El factor de la densidad de corriente (DCD) en la sección 1.10.4

4) El factor de efecto pelicular de la corriente - alterna en resistencia del Estator (FCA) en sección 2.1.

5) El factor de saturación (SFM) en sección 2.3.



BIBLIOTECA

- 6) El factor de pérdidas por ventilación (FPV) en sección 2.5.4.
 - 7) El factor de pérdidas rotacionales (FPR) en sección 2.5.3.
 - 8) El factor de pérdidas dispersa (FPD) en sección 2.5.6.
 - 9) El tipo de aislamiento (AIS) en sección 2.7.
- e. Obtener de las figuras enumeradas a continuación los valores a ser asumidos para los siguientes factores:
- 1) El factor de efecto pelicular en reactancia del rotor (EPX2) de la figura 2.1.
 - 2.- El factor de efecto pelicular en resistencia del rotor (EPR2) de la figura 2.1.
 - 3) Constante de ranura del Estator (E1) de la figuras 2.3.a y 2.3.b.
 - 4) Factor de zona de fase (FZONA) de la figura 2.4.

1.4. METODO DE CALCULO

El método de cálculo es desarrollado en el programa "TOR1", cuyo propósito es obtener una potencia de salida, partiendo de valores conocidos de frecuencia, voltaje y velocidad.

La técnica de cálculo es un procedimiento de síntesis, en el cual se adoptan valores razonables de densidad de flujo magnético y densidad de corriente, cuyos cálculos principales son:

- a. Calcular el flujo magnético por polo, para todos los valores de densidad de flujo en dientes asumidos.
- b. Determinar los valores de densidades de flujo en el entrehierro y corona, para todos los valores de flujo magnético por polo con el objeto de comparación con los valores normalizados.
- c. Determinar el número de espiras en serie por

fase para todos los valores de flujo magnético por polo.

- d. Calcular la sección transversal de los conductores, asumiendo el factor de relleno.
- e. Calcular los parámetros del motor, tales como resistencia y reactancias del Estator y rotor.
- f. Determinar las características de funcionamiento Nominales, utilizando circuito equivalente del motor de Inducción.
- g. Entre la serie de alternativas de cálculo, seleccionar la que cumple criterios de densidad de corriente y valores de características de funcionamiento.
- h. Determinar las Especificaciones para el devanado, tales como peso conductor y dimensiones de bobina.

1.5. DIMENSIONES

Por lo general, todos los motores no disponen de Especificaciones magnéticas y eléctricas; por lo

tanto antes de disponer a realizar cálculos, - hay que medir las dimensiones del circuito magnético del Estator, circuito magnético del rotor y dimensiones de circuito eléctrico del rotor (barras , anillos)

1.5.1. Dimensiones del Estator

Las principales dimensiones son mostradas en figura 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5

Los tipos de ranuras del Estator a considerarse en el presente trabajo estan representados por figuras 1.4 a, 1.4b, y 1.4c. Todas las dimensiones (w_{10} , w_{11} , w_{13} , D_{10} , D_{11} , D_{14} , D_{15} , R_{13}) son dadas en (cm.).

Los tipos de dientes que se consideran son Ancho uniforme y no uniforme, tal como indica las figuras 1.5a y 1.5b, - respectivamente.

Además; en los dientes, deberán tomarse datos de espesor de chapas y Tipo de aislamiento entre chapas, con obje

DIMENSIONES DEL NUCLEO DEL ESTATOR

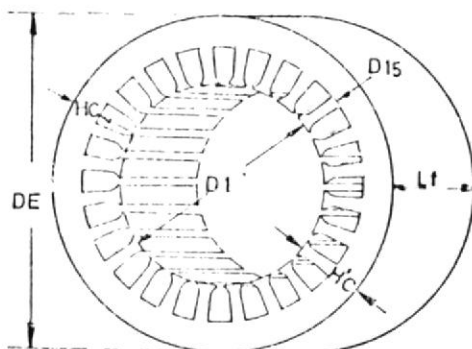


Fig: 1.1

- DE** = DIAMETRO EXTERIOR DEL ESTATOR EN cm.
DI = DIAMETRO INTERIOR DEL ESTATOR EN cm.
LC = ALTURA DEL YUGO o CORONA DETRAS DE LA RANURA EN cm.
D15 = ALTURA DE LA RANURA ESTATOR EN cm.
LI = LONGITUD DEL PAQUETE DE CHAPAS EN cm.

CANALES AXIALES DE VENTILACION

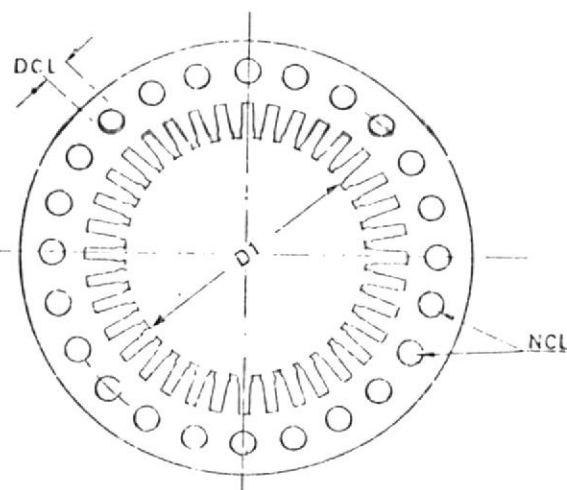


Fig: 1.2

- NRAN1** = NUMERO DE RANURAS DEL ESTATOR
DCL = DIAMETRO DE CANALES LONGITUDINALES o AXIALES EN cm.
NCL = NUMERO DE CANALES LONGITUDINALES

CORTE DE CANALES TRANSVERSALES DE VENTILACION

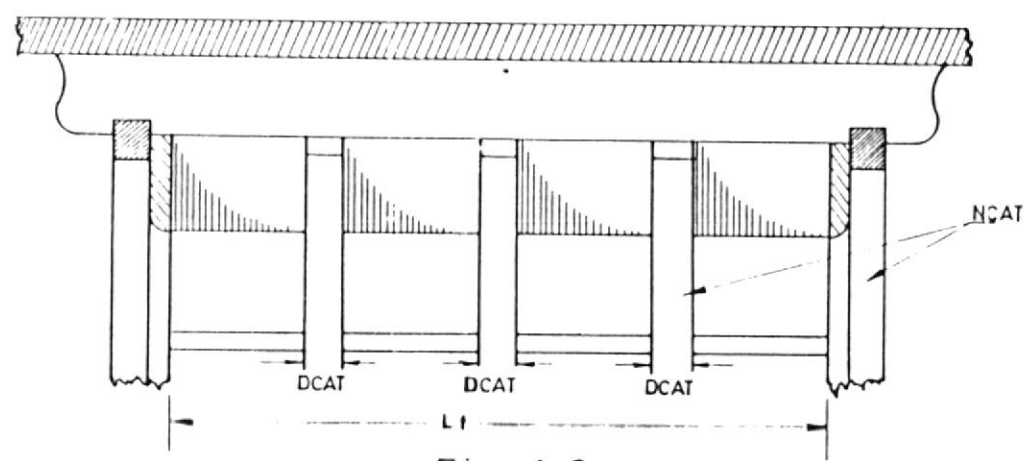


Fig: 1.3

- NCAT** = NUMERO DE CANALES TRANSVERSALES
- DCAT** = DIAMETRO DE CANALES TRANSVERSALES EN cm.
- L** = LONGITUD AXIAL PAQUETES CHAPAS EN cm.

TIPOS DE RANURAS DEL ESTATOR

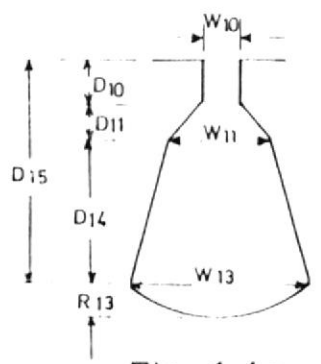


Fig: 1.4a

**RANURA TRAPEZOIDAL
CON FONDO REDONDO**

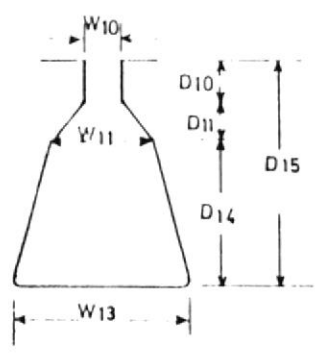


Fig: 1.4.b

RANURA TRAPEZOIDAL

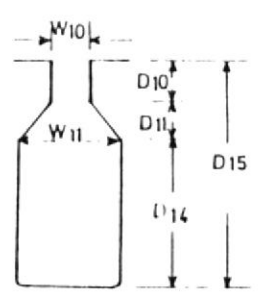


Fig: 1.4.c

RANURA RECTANGULAR

DIENTE DE SECCION UNIFORME

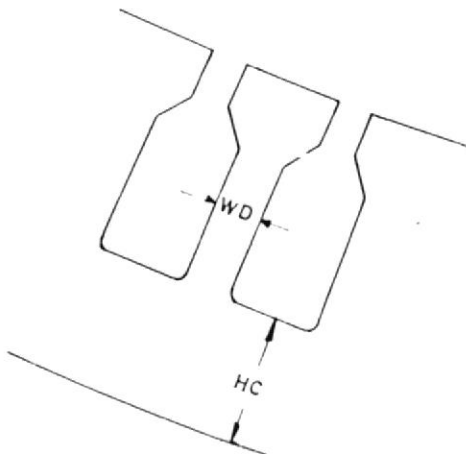


Fig: 1.5. a.

DIENTE DE SECCION NO UNIFORME

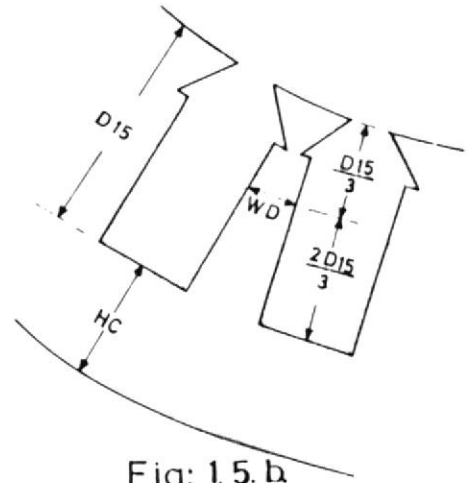
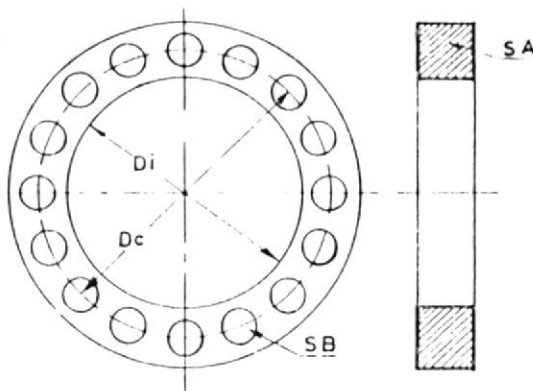


Fig: 1.5. b.

- HC** = ALTURA DEL YUGO o CORONA DETRAS DE LA RANURA EN cm
- D15** = ALTURA DE LA RANURA ESTATOR EN cm
- WD** = ANCHO DEL DIENTE EN cm

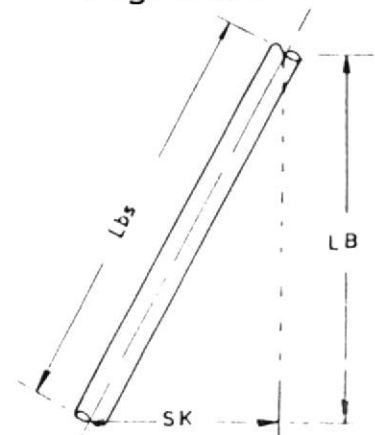
ANILLO TERMINALES DEL ROTOR JAULA DE ARDILLA

Fig: 1.6. a.



BARRA DEL ROTOR JAULA DE ARDILLA

Fig: 1.6. b.



- SB** = SECCION BARRA DEL ROTOR EN mm²
- LB** = LONGITUD DE LA BARRA EN cm.
- SA** = SECCION TRANSVERSAL DE LOS ANILLOS EN mm²
- SK** = LONGITUD SESGADA DE BARRA DEL ROTOR EN cm
- DC** = DIAMETRO ENTRE CENTROS DE LA BARRA ROTOR EN cm.
- DI** = DIAMETRO INTERIOR DE LOS ANILLOS EN cm.

to de seleccionar coeficiente de utilización dado en tabla # 1.1.

TABLA No. 1.1.

SELECCION DE COEFICIENTE DE UTILIZACION

ESPESUR DE LAS CHAPAS	TIPO DE AISLAMIENTO		
	SIN AISLAMIENTO	CHAPAS ESMALTADAS	AISLAMIENTO CON PAPEL
0.50mm	0.95	0.93	0.90
0.35mm	0.93	0.90	0.87

1.5.2. Dimensiones del Rotor

Respecto a dimensiones del rotor, se presentan dos casos:

- a) Por ser difícil realizar mediciones de circuito magnético y eléctrico del rotor, se asumirá el valor de la resistencia del rotor proporcional al factor (FR²).
- b) Cuando sea factible realizar mediciones, basta con realizar lo indicado

en las figuras 1.6.a,b,c,d, que serán suficientes para propósitos de cálculo en presente trabajo

1.6. VERIFICACION DE LA POTENCIA UTIL

Para objetos de conocer en forma aproximada, la potencia útil que un motor puede desarrollar, previo a su rediseño se distingue tres casos:

- a) Cuando se disponen de Curvas características De^2Lf vs Hpu , idénticas a las ilustradas en figuras N° 1.7., Es suficiente saber el Número de polos, para determinar la potencia útil.
- b) El Motor, conserva la placa indicadora de origen. Las características indicadas en dicha placa servirán para propósitos de verificación de potencia útil
- c) El motor esta desprovisto del devanado del estator y placa indicadora, Para este caso, el cual es objeto la presente tesis, la potencia útil en Hp, puede ser estimada con cierta aproximación por la fórmula siguiente:

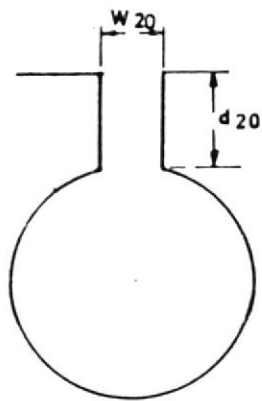
TIPOS DE RANURA DEL ROTOR

Fig: 1.6.c.
TIPO CIRCULAR

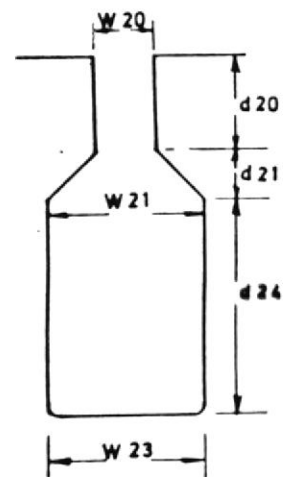
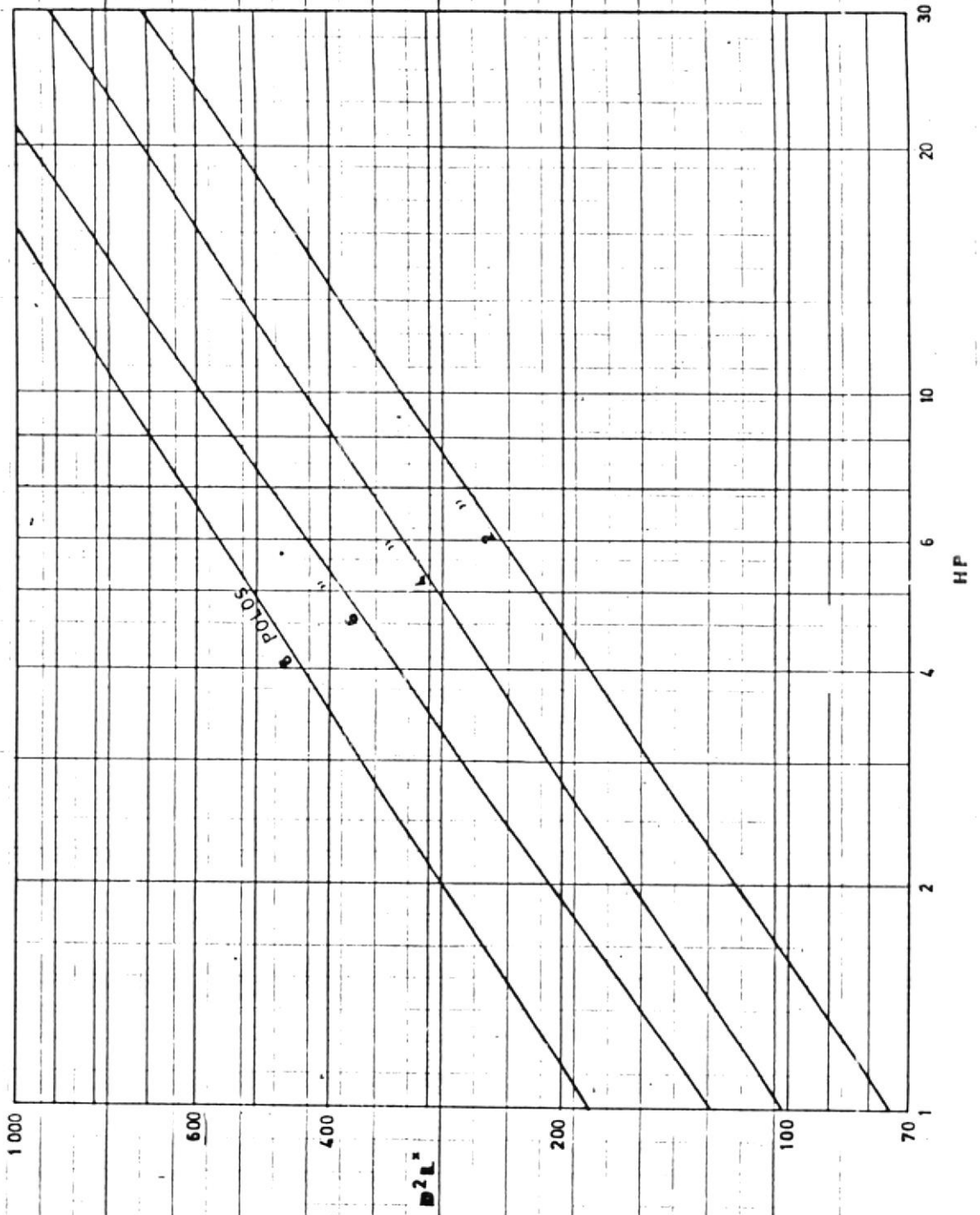


Fig: 1.6.d.
TIPO RECTANGULAR

Fig.1.7 VALORES D²L PARA MOTORES TRIFASICOS TIPO ABIERTO



* DIMENSIONES EN PULGADA CUBICA

$$H_{pu} = 2.4397 \times D_2^2 \times L F \times R P M \quad (1.1)$$

donde

D_2 = Diámetro del rotor en (mts)

$L F$ = Longitud del paquete de chapas
del circuito magnético en mts.

$R p M$ = Velocidad de rotación asincro
na en rpm

1.7. DENSIDADES DE FLUJO

El circuito magnético del motor de Inducción se distinguen cinco partes:

- 1.- Corona o yugo del Estator
- 2.- Dientes del Estator
- 3.- Entrehierro
- 4.- Dientes del rotor
- 5.- Corona o yugo del rotor

1.7.1. Densidad de Flujo en Entrehierro

Sobre la suposición de tener una onda sinusoidal, el valor máximo de la densidad de flujo en el entrehierro es:

$$B_m = \frac{\pi}{2} \times \frac{\Phi}{S_G} \quad (1.2)$$

donde:

B_m = Densidad máxima de flujo en el entrehierro en gauss

Φ = Flujo magnético por polo en Maxwell.

SG = Sección del Entrehierro por polo en cm^2

Para calcular, la sección del entrehierro se emplea la longitud corregida del paquete de chapas LC, que es igual a:

$$LC = LF - NCAT \times DCAT \quad (1.3)$$

$$SG = \frac{\pi \times D1 \times LC}{P} \quad (1.4)$$

donde:

LF = Longitud del paquete de chapas en cm

$NCAT$ = Número de canales Transversales.

$DCAT$ = Diámetro de canales Transversales en cm

P = Número de polos.

Para motores pequeños y mediana potencia - la Inducción máxima varia de 5000-9000 gauss.

Los valores bajos deberan ser tomados para motores blindados. Los valores altos para máquinas de alto rendimiento, diámetro del rotor mayores, voltaje bajo y pequeño número de polos.

Es importante que la densidad de flujo no sea tan elevada, como para causar saturación magnética del diente.

1.7.2. Densidad del Flujo en Dientes.

Debido a que la Inducción en el entrehierro, se considera una senoidal, consideramos que existe la misma relación entre el flujo y la Inducción máxima en los dientes que en el entrehierro, por lo tanto:

$$BD = \frac{\pi \times \Phi}{2 \times SD} \quad (1.5)$$

donde:

BD= Densidad de Flujo máxima en dientes dada en gauss.

SD= Sección del diente por polo (cm^2).

Para calcular la sección (SD) es necesario conocer la longitud neta (Ln) del paquete de chapas magnéticas definido por:

$$L_n = K \times LC \quad (1.6)$$

$$SD = \frac{L_n \times NRANI \times WD}{P} \quad (1.7)$$

donde;

NRANI= Número de ranuras del Estator.

WD = Ancho del diente en (cm)

LC = Longitud corregida del paquete de chapas en (cm)

K = Coeficiente de utilización que depende del Espesor de las cha
pa y del tipo de aislamiento -
que posean (ver tabla # 1.1.)

La Inducción óptima del Estator, deberá es
tar comprendida entre 14.000 a 16.000gauss
En motores multipolares puede alcanzar 17000
gauss e incluso 18.000 gauss.

1.7.3. Densidad de Flujo en Corona.

El Flujo por polo en la corona, se divide en dos partes, La Inducción máxima - se considera uniforme repartida en todas las secciones, teniéndose la relación siguientes:

$$B_c = \frac{\Phi}{2 \times S_c} \quad (1.8)$$

La Sección de la corona es definida por:

$$S_c = HC \times Ln \quad (1.9)$$

Para el caso de tener canales Longitudinales, la sección del esta dada:

$$S_c = \left(HC - \frac{2}{3} \times DCL \right) \times Ln \quad (1.10)$$

donde:

S_c = Sección del yugo o corona en cm^2

DCL = Diámetro de canales longitudinales o axiales en (cm)

La inducción máxima en corona del Estator, esta comprendida entre 12.000 a 14.000 gauss

Para motores multipolares sus valores límites son muchas veces más altos.

En motores de dos polos, se admite valores de 16.000 a 17.000 gauss.

1.7.4. Densidad de Flujo en Dientes y Corona del Rotor.

Las Inducciones en dientes y corona del rotor son generalmente más pequeñas que en el Estator, por lo que su influencia en cálculo no es primordial, ni decisiva.

1.8. FLUJO MAGNETICO POR POLO

El Flujo magnético por polo, es calculado en función del valor asumido para la densidad de flujo en dientes y área polar correspondiente definido por:

$$\Phi = \frac{2}{\pi} \times BD \times SD \quad (1.11)$$

Para evitar la saturación magnética, el flujo no deberá ser alto. Por otra parte si el flujo es pequeño, el material del circuito magnético sería mal utilizado, con las consecuentes pérdidas económicas.

1.9. NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES POR FASE.

El voltaje de alimentación (V_{LL}) en bornes del motor, deberá equilibrar la caída de tensión en la Impedancia primaria (Z_1) así como también la tensión contraelectromotriz (EL) interna inducida en el arrollamiento por el campo giratorio.

Para motores de pequeña y mediana potencia, se asumirá con aproximación suficiente que la tensión (EL) en carga Nominal es el 97% de la tensión de alimentación; por lo tanto:

$$EL = 0.97 V_{LL} \quad (1.12)$$

El Número de espiras en serie por fase es evaluado utilizando siguientes relaciones:

$$ESF = \frac{EL \times 10^8}{4,44 \times F \times \phi \times kdp} \quad (1.13)$$

donde:

kdp = Factor de devanado

F = Frecuencia de la tensión alimentación
en (HZ)

ϕ = Flujo magnético por polo en MAXWells.

EL = Tensión contraelectromotriz en voltios

Para un arrollamiento, con A circuitos en paralelo, cada uno con un determinado número de Espira en serie por fase (ESF), el número de conductores por ranura es:

$$CR = \frac{2 \times ESF \times A \times M}{NRAN1} \quad (1.14)$$

donde:

A= Número de circuitos en paralelo

M= Número de fases

NRAN1= Número de ranuras del Estator.

1.10. DIMENSIONES DEL CONDUCTOR.

Las dimensiones del conductor, dependerá de la forma de ranura, tipo de arrollamiento seleccionado y densidad de corriente.

Para objetos de cálculo de dimensiones del conductor, se presentan dos métodos.

1.- Calcular la sección transversal del conductor en función del valor de corriente Absorbida por el motor y valor asumido de la densidad de corriente.

Deberá verificarse que el número de conductores se alojen en la sección neta de la ranura.

- 2.- Determinar diámetro exterior del conductor en función del valor de la area neta de la ranura y valor asumido del factor de relleno.

Deberá verificarse el valor de la densidad de corriente calculada este dentro del rango permisible de valores normalizados.

Para objetos del presente trabajo, adoptara el segundo metodo.

1.10.1. Area Neta o Util de la Ranura

El área neta o útil de la ranura es definida por:

$$SNETA = SRAN - SAIS \quad (1.15)$$

donde:

SRAN= Area de la ranura que depende de la forma de la ranura y sus dimensiones en cm^2

SAIS= Area ocupada por el material aislante de la ranura, el aislante

entre las bobinas y la cuña dadas en cm^2 .

La clase de aislamiento depende del nivel de tensión y condiciones termicas de funcionamiento de la máquina eléctrica.

La tabla 1.2., nos muestra los espacios de aislamiento recomendados por ancho y profundidad de ranuras en motores de inducción trifásicos tipo jaula de ardilla, en función de la dimensiones del diámetro del entrehierro y voltaje de suministro.

TABLA N°1.2.*

ESPACIOS PARA AISLAMIENTO DE LAS RANURAS								
Voltajes	c(cm)	2b (cm)	PROFUNDIDAD DE LA RANURA (id)			ANCHO DE LA RANURA (iw)		
			DIAMETRO DEL ENTREHIERRO (cm)			DIAMETRO DEL ENTREHIERRO (cm)		
			38 ó menos	38 a 100	100 ó más	38 ó menos	38 a 100	100 ó más
0-300	0.204	2.54	0.61	0.635	0.788	0.152	0.165	0.202
300-600	0.254	3.81	0.635	0.738	0.864	0.190	0.216	0.241
600-1500	0.305	4.45		0.788	0.941		0.240	0.279
1500-3000	0.355	5.10		0.918	1.140		0.305	0.389

* Tomado del libro de John Kuhlmann

donde:

C= Claros entre bobinas del Estator y cabezales en cm

b= Extensión de la bobina de la armadura en cm.

Para objeto de calcular el Area neta de la ranura, se considera tres tipos de ranuras.

a) Ranura forma trapezoidal con fondo redondo, ver figura 1.4.a.

$$S_{NETA} = \left(\frac{w_{11} + w_{13}}{2} - iw \right) \left(D_{15} - iD + \frac{jw}{2} \right) + \frac{\pi}{2} \left(R_{13} - \frac{iw}{2} \right)^2 \quad (1.16)$$

b) Ranura tipo trapezoidal con fondo plano, vea figura 1.4.b.

$$S_{NETA} = \left(\frac{w_{11} + w_{13}}{2} - iw \right) (D_{15} - iD) \quad (1.17)$$

c) Ranura tipo rectángular ver figura 1.4.c.

$$S_{NETA} = (w_{11} - iw)(D_{15} - iD) \quad (1.18)$$

1.10.2. Coefficiente de Relleno

Es definido como la relación entre la sección total de conductores aislados y la sección útil o neta, es decir:

$$F_{RELL} = \frac{S_{CON} \times CR}{S_{NETA}} \quad (1.19)$$

donde:

S_{CON} = Sección del hilo con aislamiento en cm^2

CR = Número de conductores en la ranura,

S_{NETA} = Area neta o útil de la ranura en cm^2

Este coeficiente depende de la disposición de los conductores, tipo de aislamiento de la ranura e hilo conductor. Para un arrollamiento de dos secciones por ranura, el coeficiente óptimo es 55%

Se admite el 60%, para hilos gruesos, y el 63% a 75% para hilos finos. Por lo tanto; la ranura es mejor aprovechada si se relle

na con hilos de pequeño diámetro, que si se insertan hilos de diámetro grandes, - debido a que dejan entre si espacios va cios

1.10.3. Diámetro Exterior del Conductor

El diámetro exterior es calculado en fun ción de la sección útil de la ranura y coe ficiente de relleno dado por:

$$D_{ext} = \sqrt{\frac{F_{RELL} \times 4 \times S_{NETA}}{HILOS \times \pi \times CR}} / 10 \quad (1.20)$$

donde:

HILOS= Número de Hilos en paralelo

D_{ext} = Diámetro exterior del conduc -
tor aislado en (cm)

Deberá verificarse que el diámetro calculado, sea menor a la dimensión de la entaliadu ra (w_{10}), por la que se introduce el hi lo en la ranura.

Para el caso donde $D_{ext} > w_{10}$, deberá to

marse 2,3,4 etc hilos en paralelo

En el Anexo A, se muestra las características para Alambres Esmaltados de cobre tipo redondo, a utilizarse en presente trabajo

1.10.4. Densidad de Corriente del Estator

La densidad de corriente es el cociente entre la Intensidad de Corriente Nominal del Estator (I_1) por fase, por la sección transversal (Sc) del conductor.

Para el caso de un arrollamiento de (A) - circuitos e Hilos en paralelos, la densidad de corriente es:

$$\rho_c = \frac{I_1}{Sc \times \text{Hilos} \times A} \quad (1.21)$$

donde:

Sc = Sección del conductor desnuda en mm^2

El valor de la densidad de corriente (ρ_c), depende muy poco de las dimensiones del motor y totalmente de una serie de factores tales como:

- 1.- Cantidad y calidad del aislamiento - utilizado es decir, la densidad de corriente (ρ_c) es mayor;

Cuando más fino y mejor conductor de calor es el aislamiento.

- 2.- De la clase de construcción: Para motores Abiertos y cerrados, la densidad de corriente es mayor; En cambio para motores blindados, la densidad de corriente es menor

- 3.- Del sistema de ventilación: La cantidad de aire que refresca la máquina interior o por el exterior, incrementa la densidad de corriente.

Los valores recomendados por los diseñadores, asumen los siguientes valores:

$\rho_c = 3 \text{ Amp/mm}^2$, para motores sin ventilación.

$\rho_c = 6 \text{ Amp/mm}^2$, para motores con ventilación

En la práctica, los valores oscilan entre 2 a 6 Amp/mm^2

C A P I T U L O I I

DETERMINACION TEORICA - EXPERIMENTAL DE PARAMETROS PERDIDAS Y CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO:

Realizada la determinación del número de conductores - en serie por fase (CSF) y el diámetro del conductor (DCON), es necesario proceder con el cálculo de parámetros (resistencias y reactancias) del devanado del estator y rotor jaula de ardilla; para lo cual se describe las fórmulas y técnicas de cálculo a utilizarse.

Mediante la utilización del circuito equivalente del motor de Inducción y su diagrama de flujo de potencia, se determinan las características de funcionamiento para las condiciones de arranque, Nominales y máximas.

Para objetos de verificación de las características - teóricas, se describen los procedimientos de pruebas y ensayos experimentales a que deberá ser sometido el motor rediseñado en la determinación de sus características de operación.

Finalmente en caso de no poder realizar las pruebas experimentales, se tiene como alternativa el trazado del Diagrama de círculo y el procedimiento en la obtención de las características a partir del Diagrama de círculo.

2.1. RESISTENCIA DEL DEVANADO PRIMARIO.

La resistencia por fase, considerando el conductor redondo a la temperatura ambiente de 25°C es:

$$R_{125} = \frac{Fca \times \rho_c \times ESF \times SM}{A \times S_c \times Hilos \times 100} \quad (2.1)$$

donde:

Fca= Factor de corriente alterna, asumido -
igual a 1.15 para capacidades pequeñas
e igual a 1.30 para capacidades grandes.

ESF= Número de espiras en serie por fase

ρ_c = Resistividad eléctrica del conductor;

Para material tipo cobre es igual a

$$0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

SM= Longitud de la Espira Media en cm

A= Número de circuitos en paralelo.

Hilos= Número de conductores en paralelo.

Para condiciones de funcionamiento nominales a la

temperatura (T_n), la resistencia por fase es:

$$R_1 = R_{125} \times \frac{234.5 + T_n}{234.5 + T_A} \quad (2.2)$$

donde:

T_n = Temperatura de operación del motor en
°C

T_A = Temperatura del ambiente considerada
25°C

Para condiciones de funcionamiento al arranque -
se considera la resistencia igual a:

$$R_1 = R_{125} \quad (2.3)$$

2.2. RESISTENCIA DEL DEVANADO DEL ROTOR.

Para propósitos del cálculo, se consideran dos
casos:

a) Se desconocen las dimensiones físicas del devanado jaula de ardilla; por tal razón, se asumirá dicho valor. Para condiciones de funcionamiento Nominal la siguiente relación es utilizada:

$$R_2' = FR_2 \times X1 \quad (2.4)$$

donde:

FR2= Factor asumido para la resistencia del rotor, cuyo rango de valores es de 0.45 a 0.60.

Los valores mayores son para motores pequeños en cambio los valores menores son para motores grandes.

Para las consideraciones de funcionamiento - al momento de arranque, se considera el efecto pelicular sobre la resistencia de las barras; por tal razón:

$$R2' = FR2 \times X1 \times EPR2 \quad (2.5)$$

El valor EPR2 es tomada de la curva representada en la figura 2.1.

- b) Se conoce las dimensiones físicas del devanado del rotor, en tal caso tomaremos datos de acuerdo a lo estipulado anteriormente en la sección 1.5.2.

La Resistencia del rotor por fase referida - al Estator considerada a la temperatura ambiente de 25°C es:

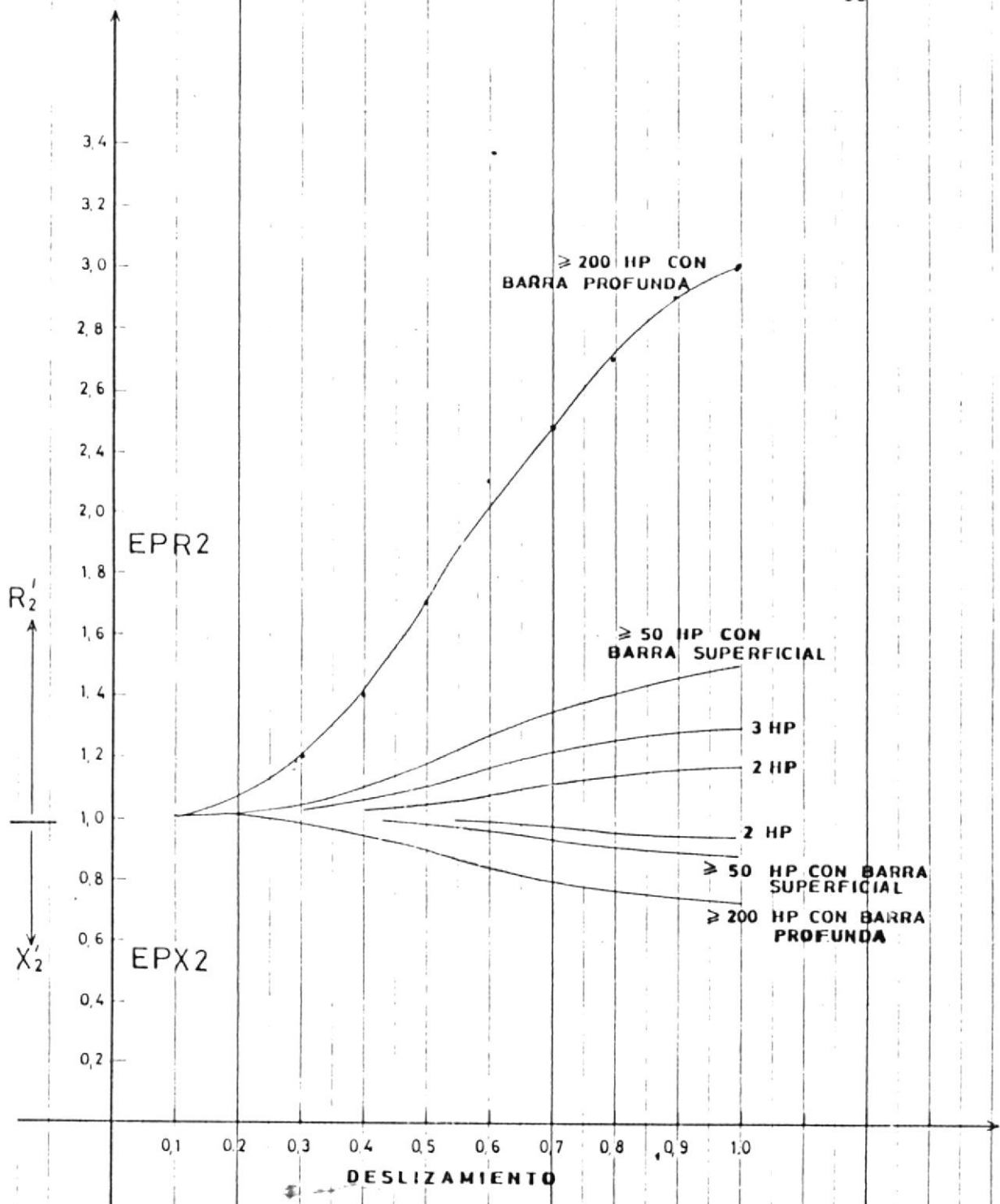


FIG. 2.1 FACTORES EFECTO PELICULAR (EPX2 y EPR2)

REF: AUTOR: Michael Liwshitz TITULO: Maquina de Corriente alterna Pag: 2-8

$$R_2' = CSF^2 \times KD^2 \times KP^2 \times M \times (R_{BAR} + R_{ANI}) \quad (2.6)$$

donde:

R_{BAR} = resistencia de la barra definida por:

$$R_{BAR} = \frac{lbs}{SB \times N_{RAN2}} \times Resb \quad (2.7)$$

R_{ANI} = Resistencia del anillo definida por:

$$R_{ANI} = \frac{0.64 \times C_{ANI} \times DCA}{P^2 \times SA} \times RESB \quad (2.8)$$

$RESB$ = resistividad eléctrica de acuerdo al material de construcción de jaula de ardilla.

La resistencia del anillo (R_{ANI}), depende del factor anchura de los anillos terminales C_{ANI} definido por:

$$C_{ANI} = P/2 \times \left(1 - \frac{DIA}{DCA}\right) \left(1 + \frac{DIA}{DCA}\right)^P / \left(1 - \left(\frac{DIA}{DCA}\right)^P\right) \quad (2.10)$$

En condiciones de funcionamiento nominales a la temperatura (T_n), la resistencia es definida por:

$$R_2' = R_2' \times \frac{234,5 + T_n}{234,5 + T_A} \quad (2.11)$$

Para condiciones de funcionamiento de arranque, se considera la temperatura de 25°C , la resistencia es definida por:

$$R_2' = CSF^2 \times KD^2 \times Kp^2 \times M \times (RANI + RBAR) \quad (2.12)$$

Donde:

$RBAR$ = resistencia de la barra, en que se considera el efecto pelicular sobre las barras del rotor definido por:

$$RBAR = \frac{(LF \times EPR2 + (lbs - LF)) \times Resb}{(SB \times NRAN2)} \quad (2.13)$$

2.3. REACTANCIA MAGNETIZANTE

La reactancia magnetizante es la relación entre el voltaje inducido por la componente fundamental de flujo, dividida por la corriente magnetizante requerida para establecer el flujo por lo tanto:

$$XM = \frac{EL}{IM} \quad (2.14)$$

$$X_M = CREA \times 0.1273 \times CMAG \times M \quad (2.15)$$

donde:

CREA= Constante de reactancia

CMAG= Constante de magnetización

Las constancias anteriores son evaluadas, mediante las siguientes relaciones:

$$CREA = 2 \times \pi \times F \times 10^{-8} \times (CSF \times KD \times KP)^2 \quad 2.16$$

$$CMAG = \frac{APO}{TLG \times P \times SFM} \quad 2.17$$

$$APO = \frac{LF \times \pi \times D1}{P} \quad 2.18$$

$$TLG = FKT \times G \quad 2.19$$

$$FKT = FK1 \times FK2 \quad 2.20$$

$$FK1 = \frac{(YDiE1 \times (5 \times G + W10))}{(YDiE2 \times (5 \times G + W10) - W10^2)} \quad 2.21$$

$$FK2 = \frac{(YDiE2 \times (5 \times G + W20))}{(YDiE2 \times (5 \times G + W20) - W20^2)} \quad 2.22$$

$$G = \frac{D1 - D2}{2} \quad 2.23$$

$$YDiE1 = \frac{\pi \times D1}{P} \quad 2.24$$

$$YDiE2 = \frac{\pi \times D2}{p} \quad 2.25$$

donde:

Apo = Area polar magnética en cm^2

TLG = Trayectoria de longitud magnética en cm

SFM = Factor de Saturación

G = Longitud del entrehierro en cm.

YDiE1, YDiE2 = Paso del diente del Estator y rotor respectivamente.

FKT = Factor de carter total

El Factor de carter (FKT), expresa el incremento de la reluctancia, por la presencia de ranuras - abiertas o parcialmente cerradas del Estator y rotor.

El Factor de Saturación (SFm), para propósitos - de este trabajo, es asumido entre 1.20 a 1.40.

Cuando las barras del rotor son sesgadas, se considera el efecto de sesgo (CSES), dado por:

$$XMAG = CREA \times 0.1273 \times CSES \times M \times CMAG \quad (2.26)$$

$$CSES = \frac{-\text{SIN} (CSES/2)}{ASES \times 0.5} \quad (2.27)$$

$$\text{ASES} = \left(\tan^{-1} \left(\frac{SK}{Lb} \right) \right) \times P/2 \quad (2.28)$$

donde:

ASES = ángulo de sesgo de la barra del rotor en °E

2.4. REACTANCIA DE DISPERSION

La reactancia de dispersión se debe a aquella parte del flujo producido por la fuerza magnetomotiva del estator, que no enlaza efectivamente con el devanado del rotor, denominado flujo de dispersión.

El flujo de dispersión puede dividirse en los siguientes componentes: Flujo de dispersión en ranuras del Estator y rotor, dispersión en cabezales, dispersión en zig-zag, dispersión de zona y dispersión de sesgo tal como se muestra en la figura N° 2.2.

Cada uno de los flujos anteriores, originan sus respectivas reactancias. Para propósitos de cálculo de reactancias, se asumirá que las trayectorias de los flujos de dispersión no están saturados.

- 1) DISPERSION DE LA RANURA DEL ESTATOR
- 2) " DIFERENCIAL
- 3) " DE LA RANURA DEL ROTOR
- 4) FLUJO MUTUO

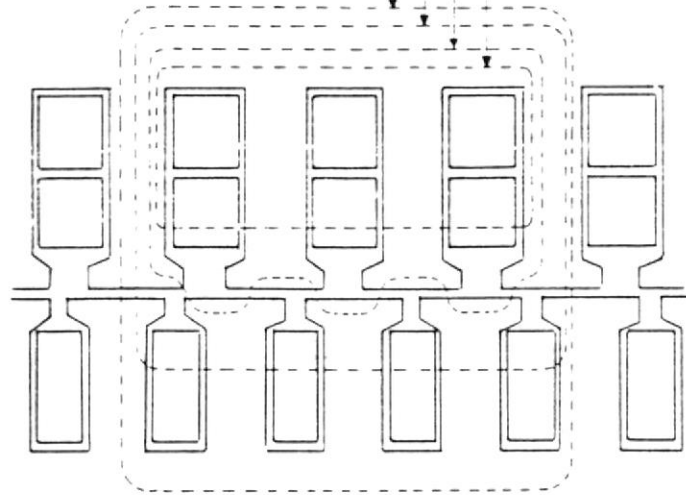


Fig: 2.2 TRAYECTORIAS DE FLUJOS DEL ENTREHIERRO

2.4.1. Reactancia de Dispersión de Ranuras.

Es originada por el flujo de dispersión en la ranura, el cual al seguir una trayectoria de la ranura y diente del rotor, encadena solamente los lados de la bobina que produce este flujo, dado por:

$$X_{\text{RAN}} = \frac{C_{\text{REA}} \times 1.255 \times M \times L_F \times C_{\text{RANE}}}{N_{\text{RAN1}} \times (K_D \times K_p)^2} \quad (2.29)$$

$$C_{\text{RANE}} = \frac{C_{\text{RA1}} \times C_{\text{ZF}} + (N_{\text{RAN1}} \times C_{\text{RA2}} \times (K_D \times K_p)^2)}{N_{\text{RAN2}}} \quad (2.30)$$

donde:

C_{RANE} = Es la constante de ranura total que incluye ambas ranuras del Estator y rotor, como también el efecto de distribución del devanado en la dispersión de la ranura.

$C_{\text{RA1}}, C_{\text{RA2}}$ = Son las constantes de las ranuras del Estator y rotor respectivamente, que dependen de la forma de la ranura, siendo evaluadas con las siguientes relaciones:

- a) Ranura Trapezoidal con fondo circular:
ver figura #1.4a

- b) Ranura Rectangular (ver figura #1.4c)

$$CRA1 = \frac{D10}{W10} + \frac{2 \times D11}{W10 + W11} \quad (2.32)$$

- c) Ranura Trapezoidal (ver figura 1.4b)

$$CRA1 = E1 + \frac{D14}{W13} + \frac{D10}{W10} + \frac{2 \times D11}{W10 + W11} \quad (2.33)$$

El factor E1, se lo obtiene de la curva mos -
trado en la figura # 2.3a y 2.3b en fun
ción de las dimensiones de la ranura.

Para la constante de la ranura del rotor -
(CRA2) , se considera dos tipos de ranu
ras:

- a) Ranura circular (ver fig 1.6.e)

$$CRA2 = D20/W20 + 0.625 \quad (2.34)$$

- b) Ranura rectangular (ver fig.1.6.d)

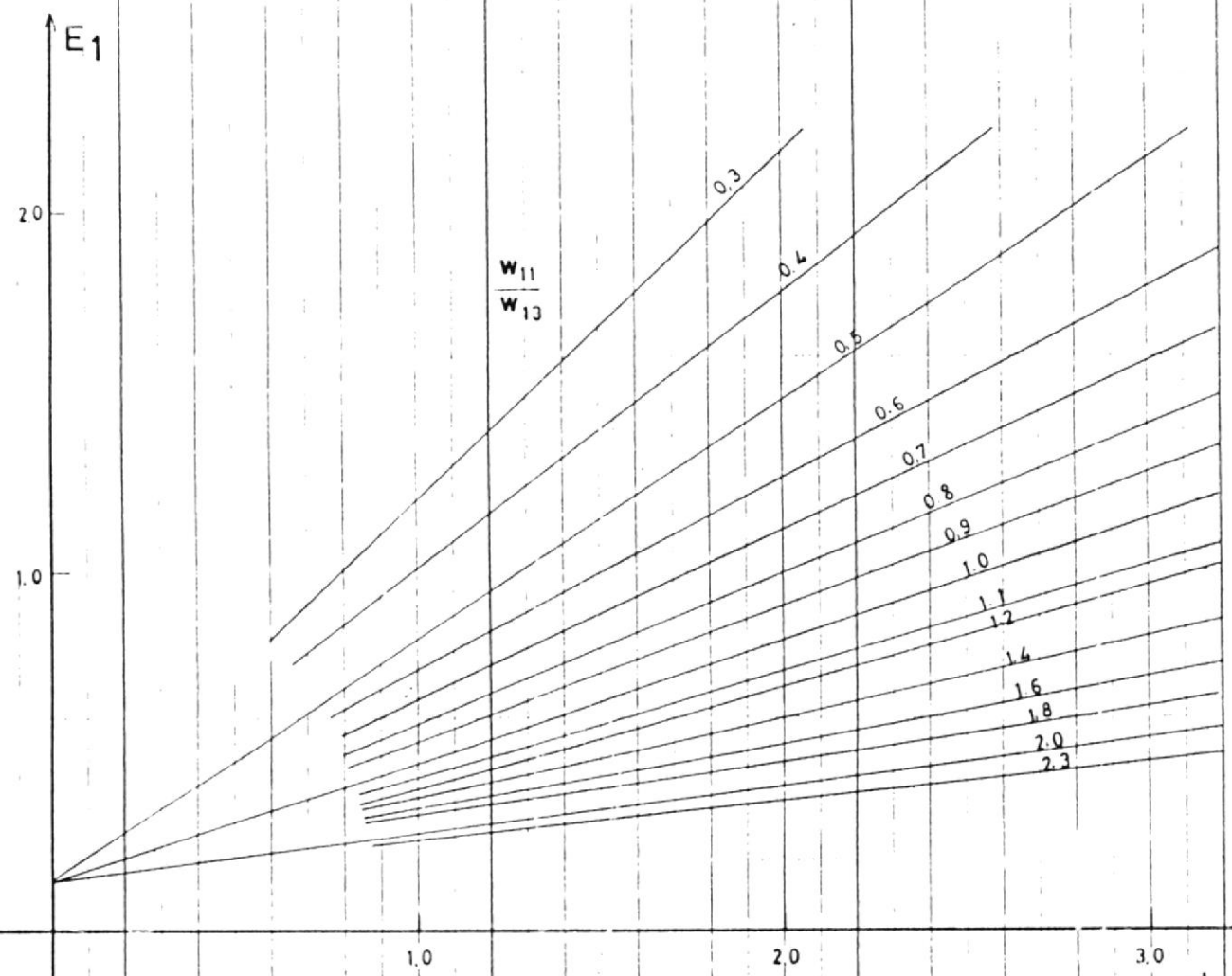


FIG. 2.3a

FACTOR CONSTANTE DE RANURA CON FONDO REDONDO

$$\frac{d_{14}}{w_{13}}$$

REF TITULO: Theory and design of small induction motors
 AUTOR: Cyril G. Veinott
 PAGINA: 328

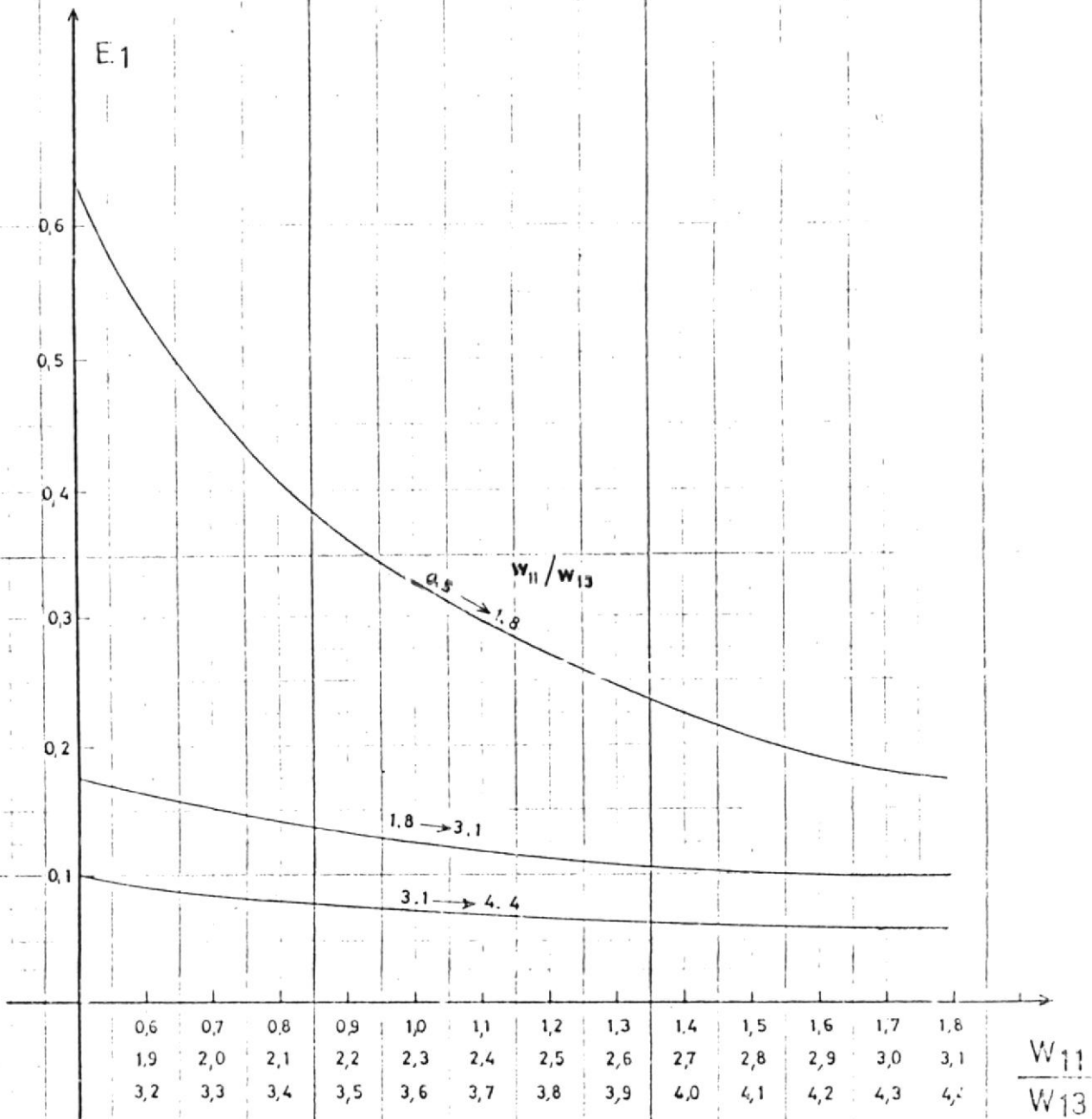


FIG. 2.3b RANURA TRAPEZOIDAL CON FONDO PLANO

REF	TITULO	Theory and design of small induction motors
	AUTOR	Cyril G Veinott
	PAGINA	329

$$CRA2 = D20/W20 + \frac{2 \times D21}{(W23+W20)} + \frac{D24}{3 \times W23}$$

(2.35)

En la mayoría de los casos se desconoce las dimensiones y tipo de ranura del rotor, por tal razón asumirá el valor de la constante de la ranura del rotor (CRA2).

La constante de zona de fase (CZF) se la obtiene de la tabla # 2.1. Se observa que es función del tipo de conexión entre los grupo polo-fase y del valor de la relación obtenida al dividir el paso de bobina por el paso polar.

En el presente trabajo, la subrutina SFASE selecciona dicha constante de fase (CZF). -

TABLA N°2.1.
CONSTANTE ZONA FASE (CZF)

CONEXION POLAR	ANGULO	$P=Yb0b/Ypolar$	CZF
Reales	60°E	0.33 - 0.67	0.25 (6p-1)
Reales	60°E	0.67 - 1.00	0.25 (3p+1)
Reales	60°E	1.00 - 1.33	0.25 (7-3p)
Consecuentes	120°E	0.67 - 1.33	0.75
Consecuentes	120°E	1.33 - 2.00	0.375+0.25

2.4.2. Reactancia de Zig-Zag

La reactancia de Zig-Zag son producidas por las componentes armónicas del flujo magnético en el entrehierro dado por:

$$X_{ZZ} = \frac{CREA \times 0.4193 \times M \times L F \times CZZ}{NRAN1 \times G} \quad (\Omega / \text{FASE}) \quad 2.36$$

donde:

CZZ = Constante de Zig-Zag definida por

$$CZZ = \frac{(CD1 + CD2)^2}{4 \times (YDiE1 + YDiE2)} \quad 2.37$$

$$CD1 = YDiE1 - W10 \quad 2.38$$

$$CD2 = YDiE2 - W20 \quad 2.39$$

donde:

CD1, CD2 = Cara del diente del Estator y rotor respectivamente.

2.4.3. Reactancia de Zona

La reactancia de zona es causada por una diferencia en la distribución entre las fuerzas magnetomotivas del Estator y rotor

dado por:

$$XZONA = CREA \times M \times CMAG \times FZONA \times 0.0004646 \quad (2.40)$$

donde:

FZONA = Factor de zona, que es función del número de ranuras del Estator y rotor, obtenida de la curva de la figura # 2.4

2.4.4. Reactancia de Terminales.

Es la reactancia debido al flujo de dispersión que se entrelaza con los terminales (cabezales) de las bobinas del Estator y con los anillos terminales del rotor, tal como se muestra en la figura N° 2.5.

Esta reactancia está afectada por la forma de la bobina, la proximidad de materiales magnéticos y muchos otros factores que varían con el diseño y fabricación; definido por:

$$XTER = \frac{CREA \times 0.6181 \times M \times DEM \times Ybob}{NPAN1 \times P} \quad 2.41$$

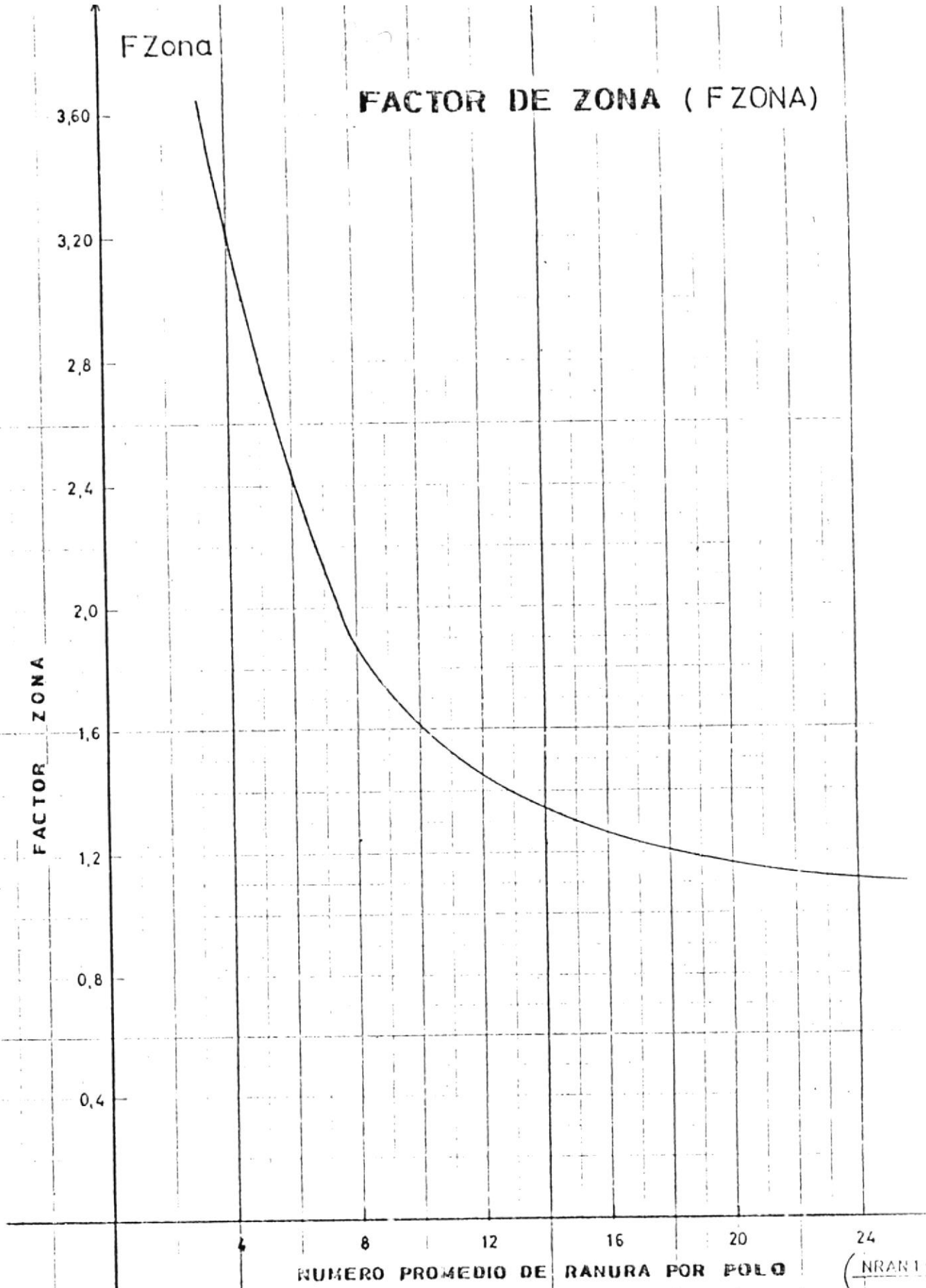


Fig: 2.4

REF: TITULO: Theory and design of small induction motors
 AUTOR: Cyril G Veinott PAGINA: 330

FLUJO DE DISPERSION DE LA CONEXION TERMINAL

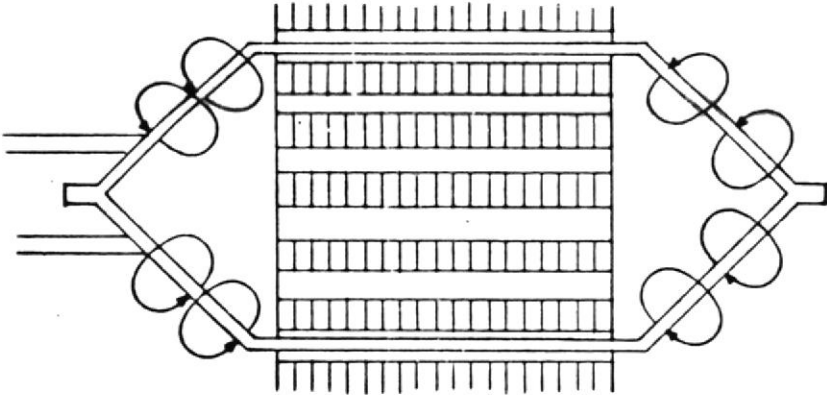


Fig: 2.5

donde:

DEM= Diámetro medio del Estator dado

por:

$$DEM = D1 + D15 + D10 + D11$$

2.4.5. Reactancia de Sesgo.

El sesgamiento de las ranuras del rotor o Estator de un motor de Inducción, introduce una forma de reactancia de dispersión diferencial llamada reactancia de sesgo - dado por:

$$XSES = CREA \times 0.1273 \times M \times CMAG \times FFP \times FS \quad (2.42)$$

donde:

FFP= factor de flujo Primario

FSES= Factor de Sesgo

Las constantes anteriores son definidas p

$$FFP = 1 - P/100 \quad (2.43)$$

$$FSES = 0.25 \times \left(\frac{ASES}{100} \right)^2 \quad (2.44)$$

2.4.6. Reactancia Primaria y Secundaria.

La reactancia total de dispersión es evaluada utilizando siguiente relación:

$$X_{TOTAL} = X_{RAN} + X_{ZZ} + X_{ZONA} + X_{SES} + X_{TER} \quad (2.45)$$

La reactancia en circuito Abierto dada por:

$$X_0 = X_{MAG} + X_{TOTAL}/2 \quad (2.45)$$

La reactancia primaria y secundaria por:

$$X_1 = X_0 - X_{MAG} \quad (2.47)$$

$$X_2 = X_1 \quad (2.48)$$

2.5. Resistencia Magnetizante.

La resistencia magnetizante, representa - las pérdidas por histerisis y corrientes de Foucault ($P_h + E$), por el flujo magnético a la frecuencia fundamental, definido por

$$R_M = \frac{P_h + E}{I_0^2 \times M} \quad (2.49)$$

$$I_0 = \frac{0.97 \times VLL}{X_0} \quad (2.50)$$

donde:

I_0 = Corriente en vacio dada en (Amperios)

2.6. CALCULOS DE PERDIDAS.

Las pérdidas a considerar en los motores de Inducción jaula de ardilla son:

- a) Pérdidas de cobre en el primario y las de las barras del rotor jaula de ardilla (P_{cu1}, P_{cu2})
- b) Pérdidas en el yugo y dientes del Estator ($P_h + E$)
- c) Pérdidas de fierro rotacionales en el Estator y rotor (P_{frot})
- d) Pérdidas Mecánicas por fricción y ventilación ($P_F + V$)
- e) Pérdidas de carga dispersa o Indeterminadas (P_{CD}).

2.6.1. Pérdidas de Cobre del Estator y Rotor:

Estas pérdidas son calculadas considerando a las resistencias a 75°C; siendo proporcionales al cuadrado de la corriente de carga definida por:

$$P_{Cu1} = m_1 \times I_1^2 \times R_1 \quad (2.51)$$

$$P_{Cu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 \quad (2.52)$$

2.6.2. Pérdidas del Núcleo del Estator y Rotor:

Estas pérdidas son producidas por el flujo magnético principal a la frecuencia fundamental. Para propósitos de cálculo, se hace uso de la curva que se muestra en la figura # 2.6.

De la curva anterior y con los valores de las densidades de flujo en la corona y dientes, se procede a determinar los factores correspondientes a Pérdidas por Kg, tanto para yugo y dientes (FWC, FWD).

El Peso del hierro en los dientes del Estator es:

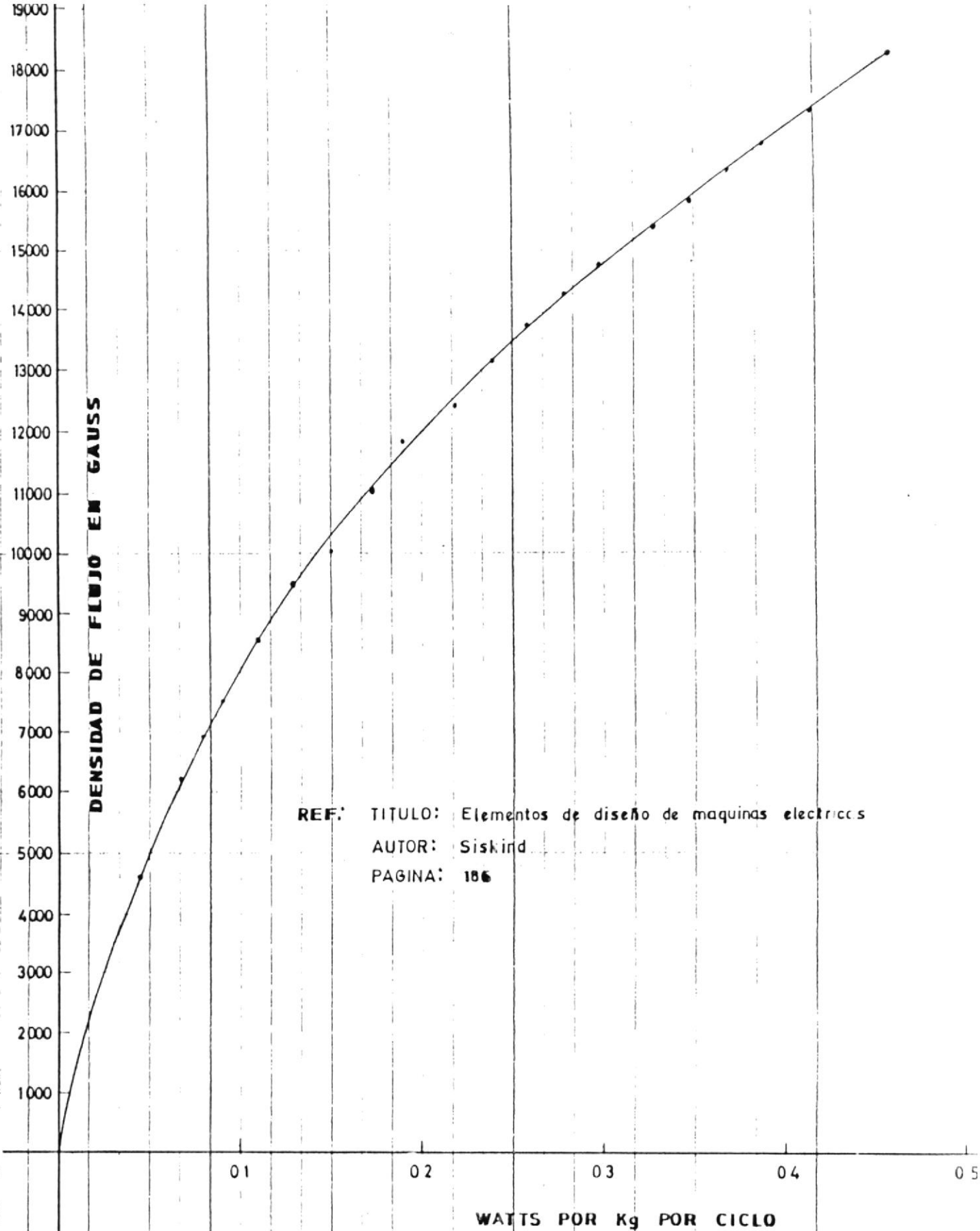


FIG. 2.6

CURVA PARA CALCULAR LAS PERDIDAS DEL HIERRO EN MOTORES

$$PD = WD \times LN \times D15 \times NRAN1 \times 7.6/1000 \quad (2.5)$$

El Peso del hierro en la corona o yugo es:

$$PC = \frac{\pi(D1^2 - (D1 - D15)^2) \times LN \times 7.6}{4.000} \quad (2.5)$$

Por lo tanto, las pérdidas del Núcleo del Estator:

$$Ph+E = (FWD * PD + FWC * PC) \times F \quad 2.5b$$

Las pérdidas en el núcleo del rotor, producidas por el flujo magnético a la frecuencia fundamental del rotor, es tan baja que se las desprecia. Para nuestras consideraciones, se toma un 5% de las Pérdidas del Núcleo del Estator.

Por lo tanto, las Pérdidas totales del Núcleo del Estator y rotor es:

$$Ph+E = (FWD * PD + FWC \times PC) \times F \times 1.05$$

2.6.3. Pérdidas de fierro Rotacionales en el Estator y Rotor.

Son producidas por la pulsación del flujo debido a las aberturas de las ranuras.

En el presente trabajo, se considera que para motores con ranuras semiabiertas - tanto en el estator y rotor, las pérdidas son del 80 al 100% de las Ph+E.

En ranuras abiertas del Estator y semi abiertas del rotor, las pérdidas son del 150% al 200% de Ph+E.

2.6.4. Pérdidas por Fricción y Ventilación.

Las pérdidas de fricción dependen de va rios factores tales como:

- a) Velocidad periférica del rotor en el cojinete.
- b) Coeficiente de fricción entre cojinete y el eje.
- c) Presión de los cojinetes.

Las pérdidas por Ventilación dependen:

a) Velocidad periférica del rotor.

b) Diámetro del rotor.

c) Longitud del Núcleo

Para propósitos de la presente tesis, estas pérdidas son generalmente del orden del 4.7% de la potencia de salida en motores pequeños y del 1,4% de la potencia de salida en motores de gran capacidad.

2.6 5. Pérdidas de Carga Dispersa:

Son producidas por los flujos armónicos tanto del Estator como del rotor sobre las superficies de los dientes respectivos.

Se considera del 0.6 al 3% de la potencia de salida. Los valores altos para motores pequeños y los valores menores para motores grandes.

Adicionalmente, debe tomarse en cuenta las pérdidas producidas por los flujos armónicos del Estator en las barras del rotor, cuyo

valor fluctúa entre 0.03% a 0.05% de la potencia de salida.

2.7. CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO:

Las características de funcionamiento son determinadas en tres puntos: Nominal, máxima y arranque.

Para lo anterior, utilizaremos el circuito equivalente del motor de Inducción representado en la figura # 2.7. y Diagrama de flujo de potencia mostrado en fig # 2.8.

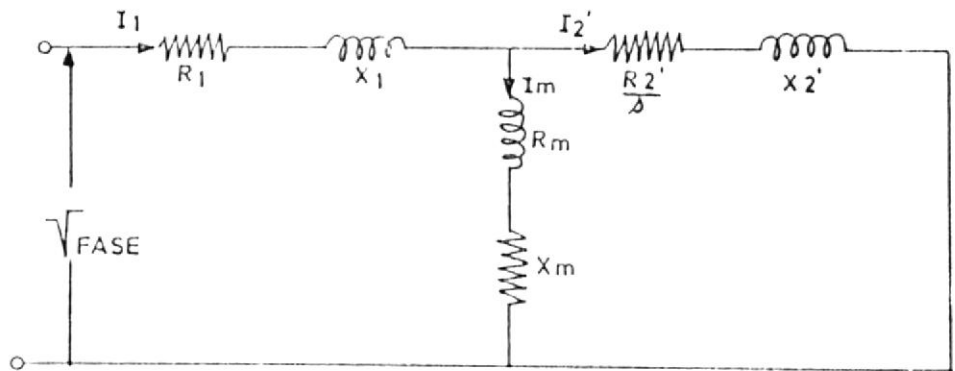


Fig N° 2.7.- CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCION

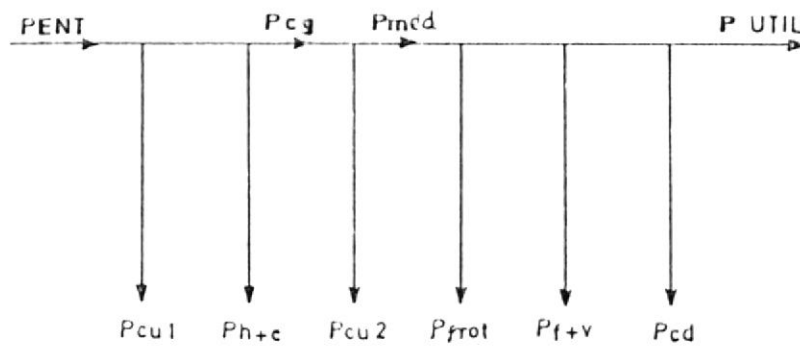


Fig.N° 2.8. DIAGRAMA DE FLUJO DE POTENCIA

Las siguientes ecuaciones son utilizadas:

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \quad (2.57)$$

$$Z_2 = R_2'/s + jX_2' \quad (2.58)$$

$$Z_m = R_m + jX_m \quad (2.59)$$

$$Z_T = Z_1 + \frac{Z_2 \times Z_m}{Z_2 + Z_m} \quad (2.60)$$

$$I_1 = \frac{V_{FASE}}{Z_T} \quad (2.61)$$

$$I_2' = I_1 \times \frac{Z_m}{Z_2 + Z_m} \quad (2.62)$$

$$P_{cu1} = m \times I_1^2 \times R_1 \quad (2.63)$$

$$P_{cu2} = m \times I_2'^2 \times R_2' \quad (2.64)$$

$$P_{MED} = P_{cu2} (1 - s)/s \quad (2.65)$$

$$P_{ENT} = P_{MED} + (P_{h+E}) + P_{cu2} + P_{cu1} \quad (2.66)$$

$$P_{UTIL} = P_{MED} - (P_{FROT}) - (P_{F+V}) - P_{CD} \quad (2.67)$$

$$T_{UTIL} = 0.974 \times \frac{P_{UTIL}}{RPM} \quad (2.68)$$

$$REND = \frac{P_{UTIL}}{P_{ENT}} \quad (2.69)$$

$$F_P = \frac{P_{ENT}}{V_{FASE} \times M \times I_1} \quad (2.70)$$

2.7.1. Condiciones de arranque

Los parámetros son calculados considerando los siguientes valores:

- R1 a temperatura de 25°C.
- X1 y X2 tomando en cuenta el factor de saturación (SFM)
- R2 a temperatura de 25° y con factor (EpR2)
- Xm y Rm, según los valores calculados en las ecuaciones 2.15 y 2.49, respectivamente.

El punto principal a considerarse es el torque de arranque (t_{arr}) definido por:

$$T_{arr} = 0.974 \times \frac{P_{cu2}}{VSIN} \text{ (kg - mt)} \quad (2.71)$$

$$VSIN = \frac{120 \times F}{P} \text{ (RPM)} \quad (2.72)$$

$$s = 1.00$$

2.7.2. Condiciones nominales

- R1 a temperatura de 75°C
- X1 determinada según ecuación 2.47
- X2 considerando factor de efecto pelicular en reactancia (EpX2) y obtenido de la curva representada en la figura N° 2.1..
- R2 a temperatura de 75°C.
- Xm y Rm, según los valores calculados en las ecuaciones 2.15 y 2.49, respectivamente.

Los puntos principales a considerar son:
Toque N6minal, eficiencia, factor de potencia a plena carga y potencia 6til.

2.7.3. Condiciones M6ximas.

Los par6metros son considerados id6nticos a condiciones N6minales. Los puntos principales a evaluarse son:

$$S_{max} = \frac{P_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (2.73)$$

$$T_{max} = 0.974 \times \frac{P_{UTIL}}{R_{pMAX}} \quad (2.74)$$

$$R_{pMAX} = V \sin (1 - S_{MAX}) \quad (2.75)$$

donde:

S_{MAX} = deslizamiento m6ximo.

2.8. CARACTERISTICAS DEL DEVANADO

Las caracteristicas principales a considerar, para devanados Imbricados de dos capas es:

- a) Paso de bobina (Y_{bob}), que es asumido de acuerdo si se lo acorta o no.

b) Peso del conductor dado por:

$$PTOTAL = PESO \times (0.876 + (0.124 \times \left[\frac{D_{EXT}}{D_{CON}} \right]^2)) \quad (2.76)$$

$$PESO = 26,7 \times HILOS \times SC \times SM \times ESPI \times A/10,5 \quad (2.77)$$

donde:

D_{CON} = Diámetro del conductor desnudo en (mm)

D_{EXT} = Diámetro del conductor aislado en (mm)

c) Número de grupos Polo-fase totales, definido - por el producto del Número de polos por el Número de fases.

$$TGRUP = P \times M \quad (2.78)$$

d) Paso del devanado entre fase:

$$P120 = \frac{2 \times NRAN1}{3 \times P} \quad (2.79)$$

e) Dimensiones de las bobinas, para propósitos de construcción, como se muestra en la figura # 2.9

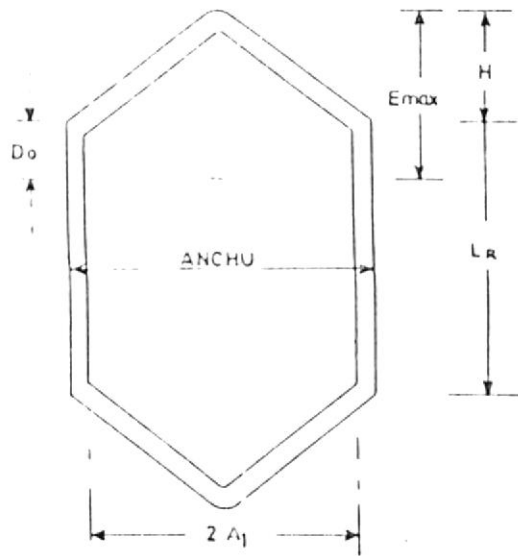


Figura N- 2.9.-DIMENSIONES DE LA BOBINA.

La amplitud máxima definida por:

$$EMAX = DD + CO + R + LM - 0.15 \quad (2.80)$$

donde:

DD = Constante que depende del tipo de aisla
ción asumida igual a:

$DD = 1.5\text{cm}$, para aislación tipo "A"

$DD = 2.5\text{cm}$, para aislación tipo "B"

La constante (R), depende del Número de polos; -
que para propósitos de selección, se toma como re
ferencia:

$R = 2\text{cm}$, para $P = 2$ polos

$R = 1,2\text{cm}$, para $P = 4$ polos

$R = 0.8\text{cm}$, para $P = 6$ polos.

La longitud de la parte recta (LR) definida por
 $LR = LF + 2 \times DD.$ (cm) (2.81)

La anchura de la bobina (ANCHU) definida por:
 $ANCHU = 2 \times A1 - LM + 0.15$ (cm) (2.82)

La altura de la bobina (H) dada por:

$H = CO + R$ (cm) (2.83)

Para el calculo de las dimensiones (CO, LM), ver referencia 8.

2.9. CALCULO EXPERIMENTAL DE LOS PARAMÉTROS Y LAS PERDIDAS.

La determinación Experimental, tiene por objeto comprobar la exactitud de los parámetros y características de funcionamiento, a fin de perfeccionar las fórmulas y técnicas de cálculo utilizada

Las Pruebas necesarias son: Medición de resistencia del Estator, Prueba de vacio Ideal, Prueba de Vacio Normal, Prueba de rotor bloqueado a ten

si3n reducida , Prueba de cargas, Prueba para las p3rdidas de fierro Rotacionales (PFROT), Prueba - para las p3rdidas de fricci3n m3s ventilaci3n(P_{F+V}) y p3rdidas de carga dispersa (PCD)

Es importante recomendar, que para una evaluaci3n exacta de los par3metros y p3rdidas, se disponga lo siguiente:

- a) Voltaje balanceado en magnitud y fase.
- b) Exactitud en la frecuencia con rango de 0.1HZ
- c) En caso de presentarse problemas con desbalanceamiento de corrientes de linea, tomar las lecturas promedio de voltajes y corrientes.

Para objetos de c3lculo, se asume conexi3n del devanado del Estator en estrella.

2.9.1. Resistencia del Devanado del Estator.

Para la evaluaci3n de la resistencia del Estator debe considerarse dos Mediciones:

- a) Medici3n de la resistencia a la temperatura

tura ambiente considera 25°C .

- b) Medición de la resistencia en caliente, considerada a 75°C .

El método consiste en aplicar voltaje (dc)-variable a dos terminales cualesquiera de las fases del devanados del Estator, hasta que la corriente continua circulante sea igual o inferior a la corriente Nominal por fase del motor. El diagrama de conexiones se muestra en figura # 2.10.

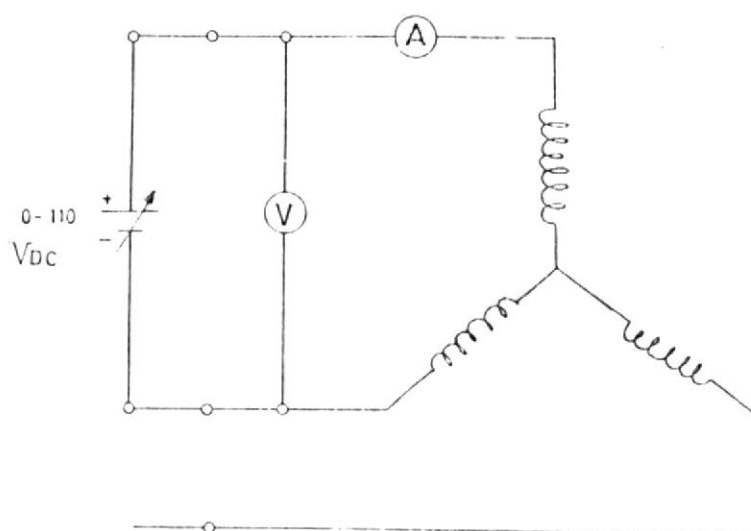


Figura #2.10.-MEDICION RESISTENCIA DEL
ESTATOR

La resistencia a la temperatura ambiente - de 25°C es:

$$RDC (25^\circ) = \frac{VDC}{2IDC} \quad (2.84)$$

La resistencia a la temperatura de funcionamiento (en caliente) a 75°C.

$$RDC (75^\circ) = \frac{VDC'}{2IDC'} \quad (2.85)$$

Por lo tanto:

$$R1 = Fca \times \frac{RDC (25^\circ) + RDC (75^\circ)}{2} \quad (2.86)$$

donde:

Fca = Factor de corriente alterna, asumido igual a 1.15 para capacidades pequeñas e igual a 1.30 para capacidades grandes.

2.9.2. Prueba de Vacío Ideal

Tiene por objeto determinar los parámetros (R_m y X_m) debido al flujo principal. La figura N° 2.11. representa el diagrama de conexiones.

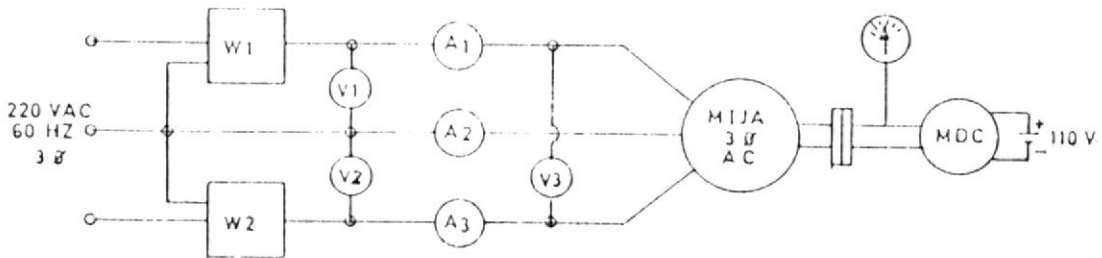


Figura #2.11.- DIAGRAMA CONEXIONES PARA PRUEBA DE VACIO IDEAL.

El procedimiento paso a paso para llevar a cabo esta prueba se la describe a continuación:

- 1.- Verificar que el sentido de rotación de las máquinas AC y DC sean iguales.
- 2.- Arrancar máquina DC y Ajustar la velocidad a la velocidad sincrónica del campo giratorio de la máquina AC.
- 3.- Energizar la máquina AC con tensión Nominal trifásica balanceada.

4.- Tomar lecturas de voltaje, corriente, -
toque y Potencia entrada, una vez que
conjunto máquina AC-DC giran a la velo-
cidad sincrona.

En caso de valores diferentes de corriente -
determine los valores promedios siguientes

$$I_0' = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (2.87)$$

$$P_{to} = W_1 + W_2 \quad (2.88)$$

$$V_0 = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \quad (2.89)$$

Bajo las condiciones de Vacío Ideal, el cir-
cuito equivalente del motor de Inducción se
lo puede representar según la fig. # 2.12.

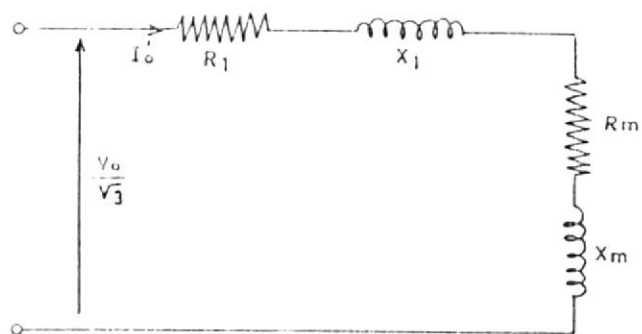


Figura #2.12.-CIRCUITO EQUIVALENTE PARA
VACIO IDEAL

se verifican las siguientes relaciones:

$$Z_0 = \frac{V_0/\sqrt{3}}{I_0'} \quad (2.90)$$

$$R_0 = \frac{P_{t0}}{3 \times I_0'^2} \quad (2.91)$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \quad (2.92)$$

$$X_{in} = X_0 - X_1 \quad (2.93)$$

$$R_m = R_0 - R_1 \quad (2.94)$$

$$P_h + E = P_{t0} - 3 \times (R_1) \times I_0'^2 \quad (2.95)$$

donde:

Z_0, R_0 = Impedancia y reactancia a circuito abierto en Ω / Fase

R_1 = Resistencia por fase del Estator.

2.9.3. Prueba de Vacío Normal

Cuando no se dispone, de un banco de prueba, para la realización de la prueba de vacío ideal, se recurre a la prueba de Vacío Normal con objetos de determinar las

constantes del circuito magnético X_m y R_m .

La figura # 2.13, muestra el diagrama de conexiones para la prueba de vacío Normal.

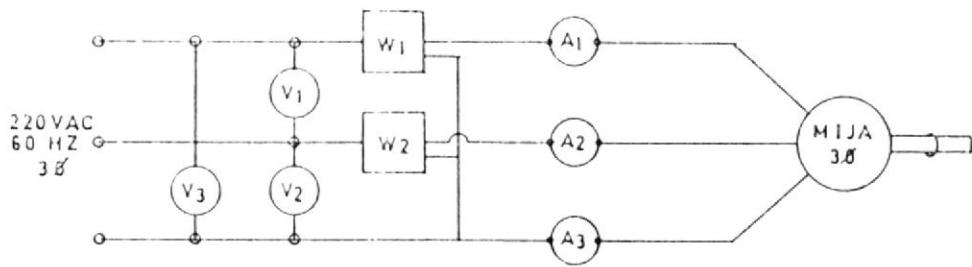


Fig. #2.13.- DIAGRAMA CONEXIONES PARA PRUEBA VACIO NORMAL

El procedimiento para llevar a cabo esta prueba se la describe a continuación.

- 1.- Energizar la máquina AC, con tensión Normal trifásico balanceada.
- 2.- Proceder a tomar lecturas de corriente voltaje y Potencia de Entrada. En caso de valores diferentes de corriente

y voltaje, determine los valores promedios siguientes:

$$I_0 = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (2.96)$$

$$P_0 = W_1 + W_2 \quad (2.97)$$

$$V_0 = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \quad (2.98)$$

El procedimiento de cálculo es idéntico a prueba de vacío ideal, defiriendo únicamente en la evaluación de las pérdidas (PH+E) definida por la siguiente relación:

$$P_{H+E} = P_0 - 3 \times I_0^2 \times R_1 - P_{FROT} - P_{F+V} \quad (2.99)$$

Las pérdidas (PF+V, PFROT), son evaluadas mediante las pruebas respectivas dada en las secciones 2.9.5 y 2.9.7., respectivamente.

2.9.4. Prueba de Rotor bloqueado a tensión reducida

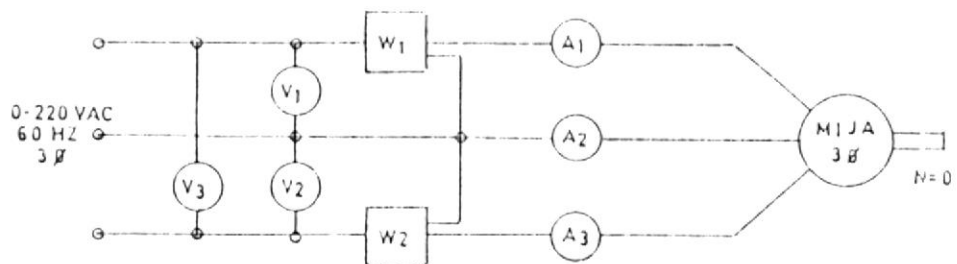
Tiene por objeto determinar las resis

tencias y reactancias de dispersión de los devanados del estator y del rotor (X_1 , X_2' R_2').

Los parámetros obtenidos se considerarán no saturados, los cuales son utilizados para la evaluación de las características de funcionamiento nominales.

Para las características de funcionamiento en condiciones de arranque o plena tensión se considerarán los parámetros saturados, para lo cual se utilizará el mismo diagrama de conexiones de la prueba de rotor bloqueado o tensión reducida.

A continuación podemos apreciar la figura N° 2.14., que muestra el diagrama de conexiones de la prueba.



FigNº 2.14.-DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO.

El procedimiento para llevar a cabo esta prueba se la describe a continuación.

- 1.- Bloquear o trabar rotor jaula de ardilla.
- 2.- Aplicar tensión trifásico variable, - hasta que corriente absorbida sea igual a corriente Nominal del motor.
- 3.- Proceder a tomar lecturas de corriente, Voltaje y Potencia de Entrada. En caso de valores diferentes de corriente y voltaje determine los valores promedios.

$$\bar{I}_{TR} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (2.100)$$

$$PTR = W_1 + W_2 \quad (2.101)$$

$$V_{TR} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \quad (2.102)$$

Bajo condiciones de rotor bloqueado a tensión reducida, el circuito equivalente del motor de Inducción es la figura # 2.15

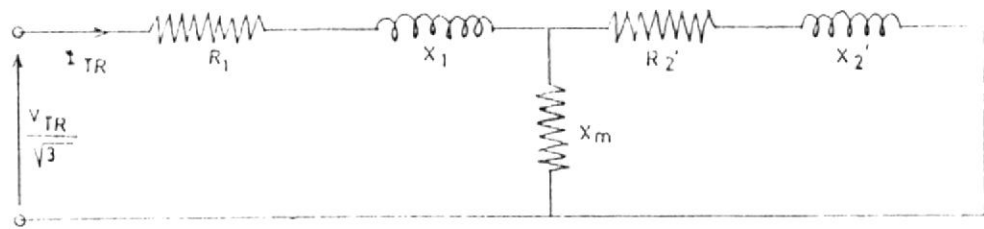


Figura #2.15.-CIRCUITO EQUIVALENTE A ROTOR BLOQUEADO.

En el circuito de la figura N°2.15 se desprecia las pérdidas de hierro (PFROT), ya que se considera que ejerce una ligera ganancia en exactitud de cálculos.

Las siguientes relaciones son utilizadas -
para el cálculo:

$$P = \frac{PTR}{(M \times ITR^2)} - R1 \text{ (75°C)} \quad (2.103)$$

$$Q = \sqrt{\left[\frac{VTR}{\sqrt{3} \times ITR} \right]^2 - \left[\frac{PTR}{M \times ITR} \right]^2} \quad (2.104)$$

$$XINS = Q - \frac{p^2}{X0 - Q} \quad (2.105)$$

$$X2NS = \frac{XINS}{E_p \times 2} \quad (2.106)$$

$$R2' = P \times \frac{X0}{X0 - Q} \quad (2.107)$$

donde:

PTR= Potencia total Absorbida por el -
motor a tensión reducida.

ITR= Corriente de rotor bloqueado a
tensión reducida.

X0= Reactancia a circuito abierto

XINS, X2NS= Reactancia de dispersión -
primaria y secundaria no
saturadas.

Para propósitos de evaluación de las características de funcionamiento en condiciones de arranque a plena tensión es necesario considerar los parámetros en condiciones saturadas.

Los parámetros saturados, son determinados utilizando el diagrama de conexiones de la figura N°2.14. El procedimiento consiste en:

- 1.- Bloquear el rotor del motor jaula de ardilla.
- 2.- Aplicar tensión de Alimentación trifásica variable, hasta que motor absorba la corriente Nominal.
- 3.- Proceder a tomar lecturas de Potencia, voltaje y corriente y Tabule los datos en la tabla # 2.2.
- 4.- Reducir tensión de alimentación variable, haciendo que el motor absorba el 80%, 60, 40, 20% de la corriente Nominal. Para cada valor de % de corriente repita paso # 3.

TABLA N° 2.2..

DATOS DE PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO					
	I_{CC}	V_{CC}	P_{CC}	P_{CC}/V_{CC}	R(25)
100 %					
80 %					
60 %					
40 %					
20 %					

5. De la tabla N° 2.2., proceder a graficar I_{CC} , Vs. V_{CC} , obteniéndose una recta, como se puede observar en la figura N° 2.16. La intersección de la recta con el eje de las ordenadas, representa la corriente de rotor bloqueado a tensión plena (ITP).

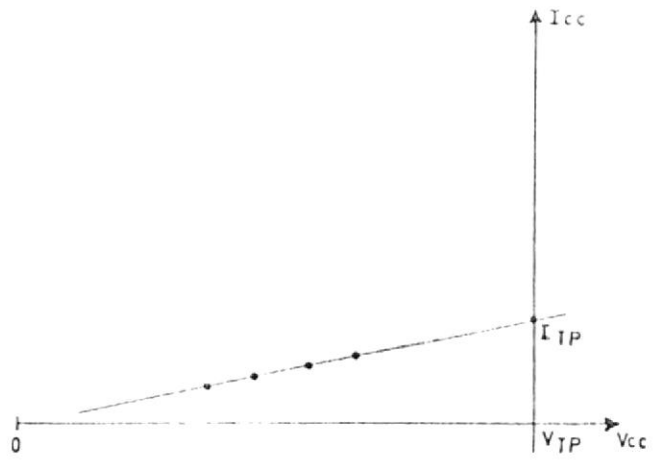


Fig N°2.16.-CURVA CARACTERISTICA DE I_{cc} vs V_{cc}

6.- De forma idéntica, proceder a graficar P_{cc}/V_{cc} vs. V_{cc} , obteniéndose una recta, como se puede observar en la figura #217 La Intersección con el eje de ordenada representa la potencia de rotor bloqueado a tensión plena (PTp)

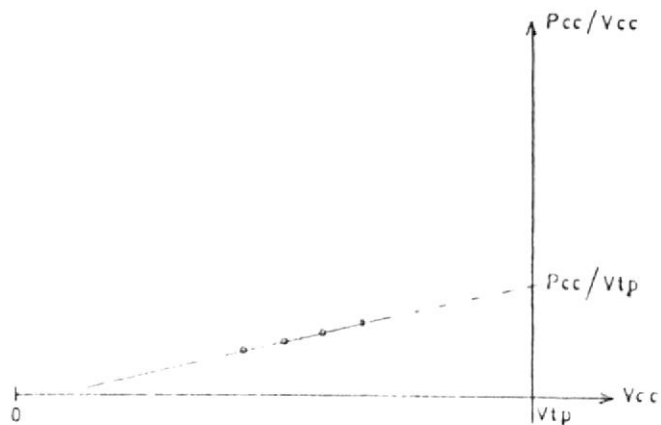


Fig N°2.17.-CURVA CARACTERISTICA P_{cc}/V_{cc} vs V_{cc} .

De la figura #2.17 se tiene:

$$PTP = \frac{P_{cc}}{VTP} \times VTP \quad (2.108)$$

Los parámetros saturados son, evaluados -
utilizando las siguientes relaciones:

$$P = \frac{PTP}{M \times ITP^2} - R1 (75^\circ) \quad (2.109)$$

$$Q = \sqrt{\left(\sqrt{3} \frac{VTP}{M \times ITP}\right)^2 - \left(\frac{PIP}{M \times ITP}\right)^2} \quad (2.110)$$

$$X15 = Q - \frac{P^2}{X_0 - Q} \quad (2.111)$$

$$X25 = X15 \quad (2.112)$$

$$R2' = P - \frac{X_0}{X_0 - Q} \quad (2.113)$$

donde:

X15, X25 = Reactancias de dispersión en
condiciones de arranque

R2' = Resistencia del rotor en con-
diciones de arranque.

El factor de saturación es defini-
do por:

$$SFM = \frac{X1NS}{XIS} \quad (2.114)$$

2.9.5. Pérdidas por fricción - ventilación

Estas pérdidas son evaluadas utilizando el diagrama de conexiones correspondientes a prueba de vacío normal (ver figura N°2.13). El procedimiento consiste en lo siguiente:

1. Aplicar valores de tensión dentro del rango de 125 % Vn al 15 % Vn. Para cada valor de tensión se procede a tomar lecturas de voltaje (Vo) corriente (Io) y potencia (Po).
2. Aplicar las siguientes fórmulas y procede a llenar los datos en la tabla N° 2.3.

$$P_{cu1} = M \times I_o^2 \times R_1 \quad (2.115)$$

$$\Sigma PERDIDAS = (P_o - P_{cu1})/3 \quad (2.116)$$

$$\Sigma PERDIDAS = P_{h+E} + P_{FROT} + P_{F+V} \quad (2.117)$$

De manera idéntica a la densidad de flujo en dientes, se lo verifica para el factor de relleno.

a.3) Como paso previo a la selección del calibre del conductor, verifica:

- 1) Qué el diámetro exterior del conductor sea menor a entalladura de la ranura.
- 2) Qué el diámetro exterior este comprendido dentro del rango de la tabla de calibres de conductores (Desde #10 al #30) contenida en Archivo "DTABLA"

b) Las asunciones principales que se realiza para propósitos de calculo son:

b.1) En caso de desconocer el tipo de ranura del rotor, como también las dimensiones de las barras y anillo terminales se procederá a asumir:

- La resistencia del rotor referida al Estator (R_2') a ser igual a un factor proporcional (FF_2) a reactancia del Estator. El fac-

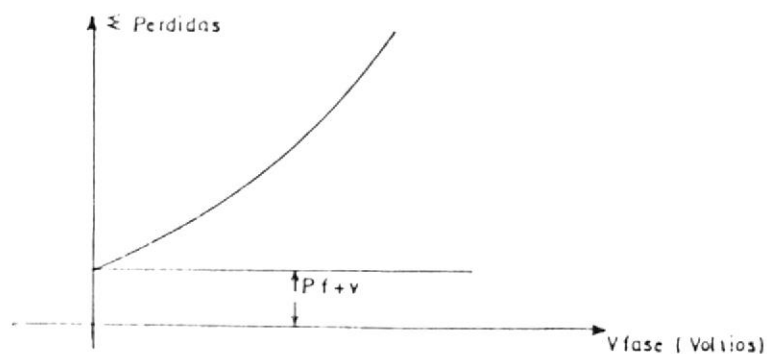
TABLA N°2.3.

DATOS DE PRUEBA DE PERDIDAS POR FRICCIÓN-VENTILACION

V_{FASE}	I_0	$P_{o3\phi}$	VELOCIDAD ROTOR	$P_{Cu1}/FASE$	$\Sigma PERDIDA/FASE$

3.- Graficar la Σ Pérdidas vs V_{FASE} , de tal manera de obtener la curva mostrada en la figura # 2.18. La Intersección de la curva con el eje de las ordenadas ($V_{FASE}=0$), es la pérdida por fricción más ventilación por fase (P_{f+v})

Fig N°2.18.-CURVA CARACTERISTICA Σ PERDIDAS Vs V_{FASE}



2.9.6. Pérdidas de Carga Dispersa

Estas pérdidas son calculadas utilizando el diagrama de conexiones que se muestra en la figura # 2.19.

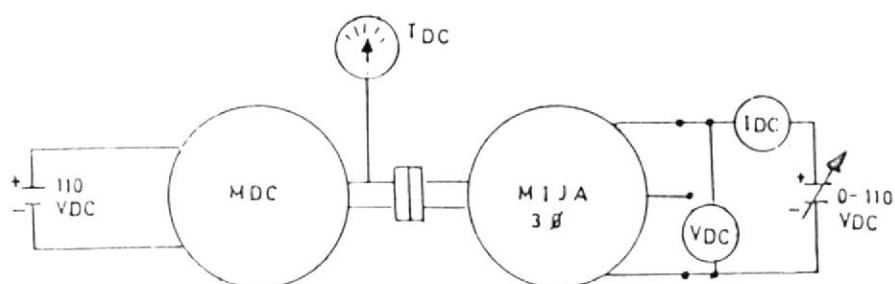


Fig N°2.19.-DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBA DE PERDIDAS CARGA DISPERSA.

El procedimiento para llevar a cabo esta prueba es:

- 1.- Energizar la máquina Dc y gire conjunto máquina Ac-Dc a la velocidad correspondiente del campo giratorio de la máquina Ac.

- 2.- Aplicar tensión continua variable (DC) entre dos fases cualesquiera de la máquina AC, tal que la corriente Absorbida (IDC) por el motor AC, tome el valor correspondiente a corriente (IAC) - desde vacío a plena carga dado por la siguiente relación:

$$IDC = 1,226 \times IAC \quad (2.119)$$

- 3.- Proceder a tomar lecturas de VDC, IDC, TDC, Rpm, para cada valor de (IDC) manteniendo la velocidad del conjunto de las máquinas AC-DC igual a la sincronica del campo giratorio.
- 4.- Aplicar las siguientes fórmulas y proceder a llenar los datos de la tabla # 2.4

$$P_{cul} = VDC \times IDC \quad (2.120)$$

$$PMDC = \frac{TDC \times RPM}{0.974} \quad (2.121)$$

MAQUINA INDUCCION				MAQUINA DC		
I _{AC}	I _{DC}	V _{DC}	P _{cu1}	T _{DC}	RPM	PMDC
I ₀						
I _n						

Tabla #2.4.-DATOS DE PRUEBA DE PERDIDAS DE CARGA DISPERSA

5.- Calcular la potencia de cortocircuito a los valores correspondientes en va cio ($P_{cc}(I_{AC} = I_0)$) y plena carga ($P_{CC}(I_{AC} = I_n)$) a partir de los gráficos # 2.16 y 2.17.

6.- Calcular las pérdidas de cobre del ro tor, para corriente de vacio y plena carga definida por:

$$P_{cu2}(I_{DC}=I_N)=P_{cc}(I_{AC}=I_N)-P_{CU1}(I_{AC}=I_N)$$

(2.122)

$$P_{cu2}(I_{DC}=I_0) = P_{cc}(I_{AC}=I_0) - P_{cu1}(I_{AC}=I_0) \quad (2.123)$$

7.- Calcular las pérdidas de carga dispersa para condiciones Nominales, definida - por:

$$PCD = (PMDC(I_{AC}=I_N) - PMDC(I_{AC}=I_0)) - (P_{cu2}(I_{AC}=I_N) - P_{cu2}(I_{AC}=I_0)) \quad (2.124)$$

2.9.7. Pérdidas de hierro Rotacionales.

Las pérdidas de hierro rotacionales, pueden ser evaluadas mediante los dos métodos siguientes:

1.- De la prueba de vacío Ideal, se determinará el toque de la máquina DC (TDC), - definido por:

$$PMDC = \frac{TDC \times RPM}{0.974} \quad (2.125)$$

También se verifica:

$$PMDC = (P_{FROT}) + (P_{F+V}) \quad (2.126)$$

Por lo tanto:

$$PF_{ROT} = PMDC - PF + V \quad (2.127)$$

donde:

PMDC = Potencia útil de la maquina DC.
en vatios

2.- A partir de la prueba de vacío normal y despreciando las pérdidas de cobre - en el rotor (P_{cu2}) y la carga dispersa (PCD) se tendrá:

$$P_0 = P_{cu1} + P_h + E + PF + V + PF_{ROT} \quad (2.128)$$

$$PF_{ROT} = P_0 - P_{cu1} - P_h + E - PF + V \quad (2.129)$$

2.10. CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Las características de funcionamiento serán evaluadas utilizando bien el método del diagrama de círculo o los ensayos directos de carga del motor

El primer método, se empleará cuando no se dispone de un banco de pruebas, y donde la potencia del motor a ensayar es elevada y no se dispone de la suficiente potencia para su alimentación a carga nominal.

En ambos casos, el objetivo principal es determinar la potencia útil, el rendimiento, el toque, la Intensidad primaria, el factor de potencia y el deslizamiento.

En el presente trabajo, se determinan las condiciones de funcionamiento por ambos métodos:

2.10.1. Diagrama de Círculo

El diagrama de círculo, debido a su carácter gráfico, puede tenerse grandes errores sino se traza con gran cuidado y suficiente exactitud.

Los resultados han de tomarse con la correspondiente reserva, sobre todo lo relacionado al rendimiento. Los Inconveniente que presentan son:

- a) No es posible determinar los calentamientos, que para las distintas cargas que se han de producir en la máquina.
- b) El método es más laborioso e imperfecto que un ensayo real, pues se basa en -

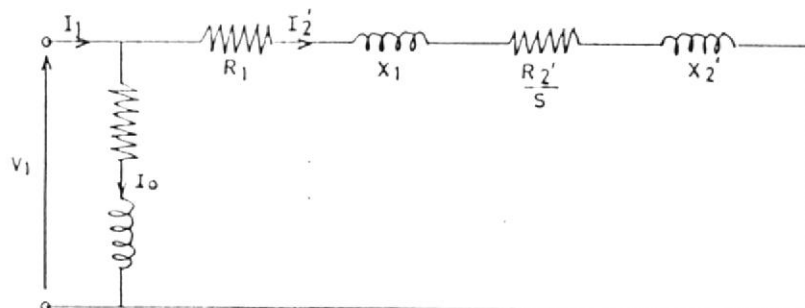
cierto número de hipótesis simplificativas, que en muchos casos no se cumplen a cabalidad.

- c) Es aplicable a motores de jaula de ardilla, en los cuales el rotor no presenta más que un pequeño efecto pelicular.
- d) El diagrama a utilizarse no es aplicable para motores de doble jaula de ardilla.

2.10.2. Construcción del Diagrama de Círculo.

La figura N° 2.20 representa el circuito equivalente aproximado del motor de Inducción

Fig#2.20.-CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO
DEL MOTOR DE INDUCCION.



A partir del circuito equivalente, se obtiene las siguientes relaciones:

$$I_1 = I_0 + I_2' \quad (2.130)$$

$$I_0 = \frac{V_1}{Z_m} \quad (2.131)$$

Para un voltaje V_1 constante la corriente en vacío (I_0), a cualquier valor de deslizamiento es una constante.

La corriente secundaria es definida por:

$$I_2' = \frac{V_1}{(R_1 + R_2'/s) + j(X_1 + X_2')} \quad (2.132)$$

La Impedancia equivalente (Z_{eq}):

$$Z_{eq} = (R_1 + R_2'/s) + j(X_1 + X_2') \quad (2.133)$$

El ángulo de Impedancia:

$$\theta_{Z_{eq}} = \text{Sen}^{-1} \frac{(X_1 + X_2')}{\sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (2.134)$$

Por tanto:

$$(I2') = \frac{(V1)}{\sqrt{(R1+R2'/S) + (X1+X2')^2}} \quad (2.135)$$

$$(I2') = \frac{(VI)}{(X1 + X2')} \text{ Sen } \theta Z_{eg} \quad (2.136)$$

A partir de la última ecuación, observamos que representa un círculo de diámetro

$$\frac{V1}{X1 + X2'}$$

El diagrama puede ser trazado, realizando las siguientes pruebas:

- 1) Prueba de Vacío Ideal o Normal dada en 2.9.2.
- 2) Prueba de rotor bloqueado a tensión reducida en 2,9,4 .
- 3) Medición de resistencia primaria dada en 2.9.1.

La figura N°2.21, representa un diagrama - de círculo, en el cuál estan representado todas las características desde $S=0$, hasta $S=1.0$

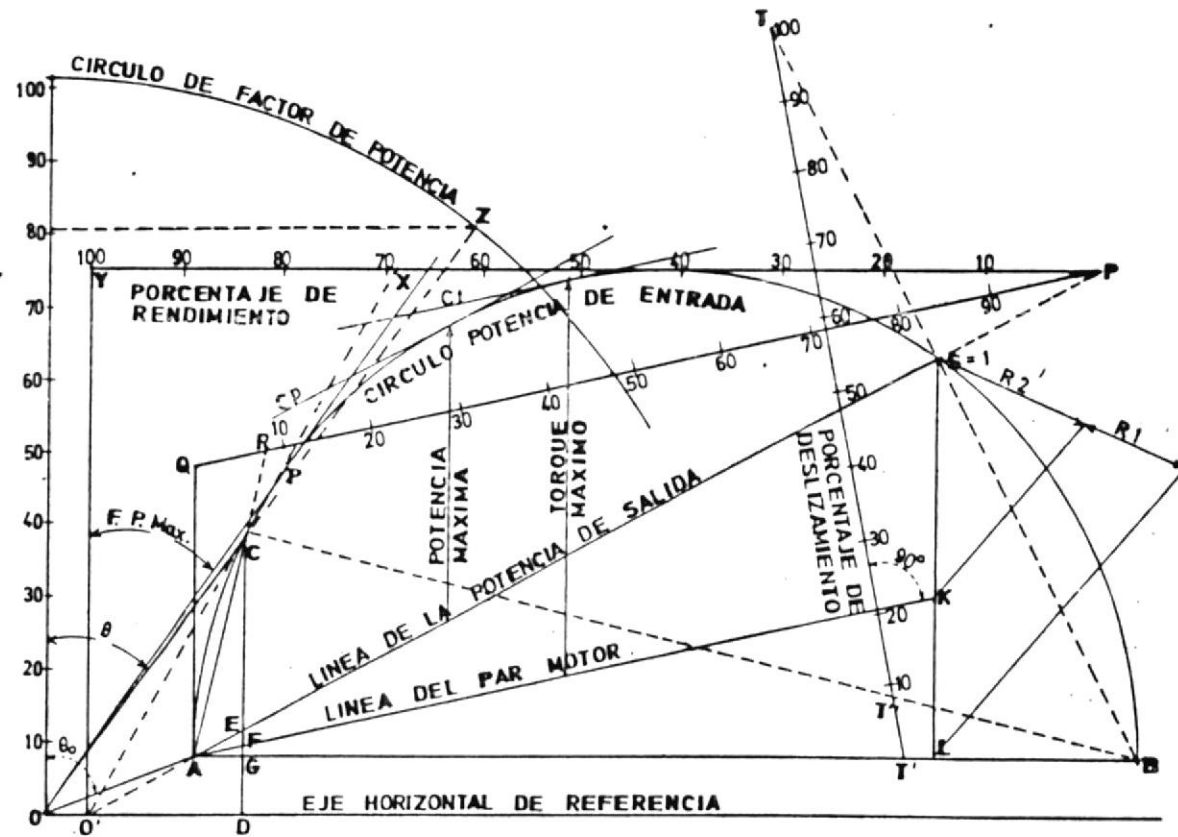


Fig. 2.21 **DIAGRAMA DE CIRCULO**

2.10.3. Características de funcionamiento a partir de Diagrama de Círculo

Para un punto cualquiera C del círculo, pueden obtenerse las distintas características del motor que corresponden a dicho punto de funcionamiento. El segmento \overline{OC} es la corriente primaria, \overline{AC} es la corriente secundaria, \overline{CD} la potencia de entrada del motor y \overline{CE} la potencia de salida del motor.

El segmento \overline{EF} , las pérdidas de corriente secundarias ($I_2'^2 R_2'$). El segmento \overline{FD} , las pérdidas de cobre primarias y \overline{ED} las pérdidas en el núcleo.

El punto del fp máximo es P, localizado trazando una tangente al círculo desde O. Los puntos de torque y potencia de salida máxima son similarmente localizados en ct y cp por líneas tangentes a AK y AS, respectivamente.

El porcentaje en rendimiento es el punto X sobre la recta P-y localizada trazando recta

entre puntos O' y C .

El porcentaje en deslizamiento es el punto T "sobre la recta $T-T'$ ", localizado trazando la recta entre los puntos C y B .

El factor de potencia, encontrado mediante la proyección del punto Z del cuadrante - del círculo sobre la escala vertical, trazado con centro en O y un radio igual a 100 unidades arbitrarias.

Seleccionando diferentes puntos de funcionamiento en el rango $S=0$ y $S=1$, de magnitudes correspondientes a torque, velocidad factor de potencia, corriente primaria, potencia de salida, etc; se trazan estas magnitudes como ordenadas y las correspondientes a potencia de salida como abscisas; obteniéndose las curvas características mostradas en la fig # 2.22.

Los puntos de la curva que se indican con líneas interrumpidas se encuentran más allá del punto máximo de potencia de salida y señalan una región de inestabilidad.

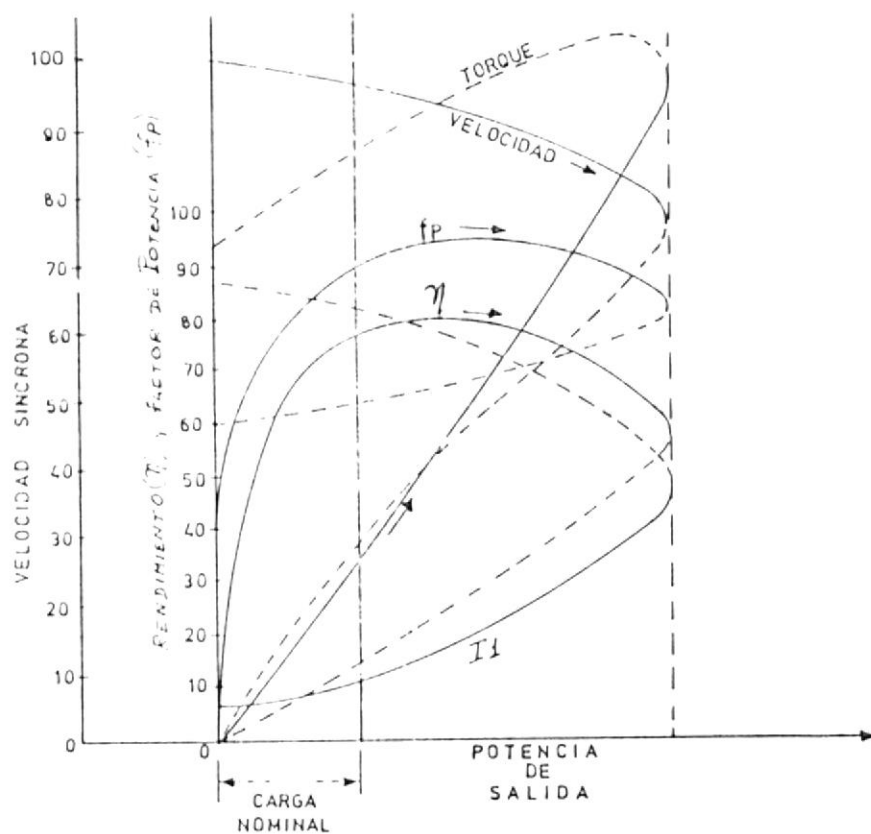
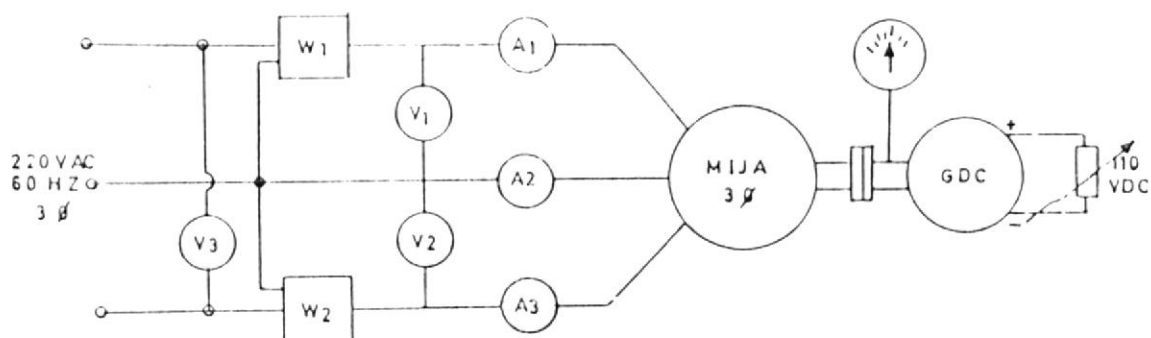


Fig #2.22.-CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL DIAGRAMA DE CIRCULO.

2.10.4. Prueba de Carga

Tiene por objeto determinar las características eléctricas y mecánicas. La figura # 2.23, muestra el diagrama de conexiones.



Fig^o 2.23.- DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE CARGA.

El procedimiento para llevar a cabo esta prueba es:

- 1.- Instalar un detector de temperatura en los arrollamientos primario para registrar el calentamiento.
- 2.- Disponer de un cronómetro para la evaluación del tiempo de los Incrementos de Temperatura, para los distintos valores de porcentaje de corriente de carga.
- 3.- Arrancar motor AC y proceder a conectar carga al generador DC. Para cada valor de corriente del motor AC,

es necesario mantener su carga constante (carga DC).

4.- Proceder a tomar lecturas de voltaje, potencia, Velocidad, torque, temperatura y tiempo; en las condiciones cuando la temperatura del motor se ha estabilizado para un valor determinado de carga.

5.- Utilizar las siguientes relaciones para propósitos de cálculo de Rendimiento (η) Potencia útil (Hpu) y factor de potencia (Fp); dado por:

$$P_{UTIL} = \frac{R_{PM} \times \text{TORQUE UTIL}}{0.774} \quad (2.137)$$

$$REND = \frac{P_{UTIL}}{P_{ENT.}} \quad (2.138)$$

$$F_p = \frac{P_{ENT}}{V_{FASE} \times M \times I_1} \quad (2.139)$$

6.- Proceder a llenar datos de tabla N°2.5

TABLA #2.5.-DATOS DE PRUEBAS DE ENSAYOS
EN CARGA.

PUNTO	$I_{ESTATOR}$ (AMP)	PENTRADA (VATIOS)	RPM	TORQUE UTIL	REND.	F_p	P_{UTIL} (VAT.)	TEMPE- RATURA °C	TIEM- PO (Seg)
I_0									
$0.5 I_1$									
$0.6 I_1$									
.									
.									
.									
$1.25 I_1$									

7.- Proceder a graficar las características de carga y mecánicas a partir de los datos tabulados en la tabla #2.5.

C A P I T U L O I I I

METODO COMPUTACIONAL PARA REDISEÑO

El presente capítulo, se describirá dos programas escritos en lenguaje Fortran que son:

- 1.- Programa de Rediseño del devanado, denominado "TUR1" el cual constituye el programa principal.

- 2.- Programa del diagrama de círculo de un motor de Inducción, denominado "TOR2", que sirve de complemento a programa "IOR1" en el caso de no disponer de un Banco de pruebas para propósitos de obtención de características de funcionamiento.

3.1. PROGRAMA TUR1

3.1.1. Objetivos

Rediseñar el devanado Imbricado 3ϕ de dos capas a partir del núcleo magnético del Estator.

3.1.2. Generalidades

El programa es escrito en lenguaje Fortran, grabado en librería común del sistema 43/41 con el nombre "TOK1", conteniendo el programa principal "PTOK1", la subrutina "UTABLA", y la subrutina "SFASE" que se detallan a continuación:

- a) El programa principal "PTOK1", contiene el conjunto de preposiciones aritméticas y lógicas en el procedimiento de cálculo, cuyos resultados principales son:
 - a.1) Constantes y características del -
circuito magnético
 - a.2) Parámetros y características de -
funcionamiento en condiciones de
arranque, máximas y nominales.
 - a.3) Especificaciones para el devanado
y dimensiones de las bobinas.
- b) La subrutina "SFASE", que sirve para la selección de la constante de Zona de fase.

c) El archivo denominado "DIABLA", el cual contiene la información siguiente:

c.1) Especificaciones de las características de los conductores de Alambre circular tipo cobre desde el calibre #10 hasta n°30 según clasificación AWG.

c.2) Un conjunto de Pares ordenados correspondientes a una curva, con objeto de evaluar las pérdidas en el circuito magnético.

d) El archivo denominado "DIOR1", que contiene el listado de las variables de entrada necesarias para la evaluación del programa "PIOR1".

3.1.3. Procedimiento

El Programa "PTOR1", presenta un método de cálculo para el rediseño del devanado del Estator de motores inducción tipo jaula de ardilla; el cual se base en la adaptación de valores razonables de la densidad de

flujo en dientes. Para objeto de cálculo de características de funcionamiento utiliza circuito equivalente del motor de inducción y el criterio para la selección de corriente. A continuación se describen los puntos principales que se consideraron en el desarrollo del programa:

a) Las verificaciones principales son:

a.1) verifica que núcleo magnético del estator desarrolle la potencia útil, el cuál deberá ser el valor máximo como dato de entrada de la potencia útil. Si la potencia útil a diseñarse resulta mayor a capacidad del Núcleo enviara mensaje con sugerencia adecuada.

a.2) Verifica que el valor asumido para la densidad de flujo magnético en dientes, no sea mayor al valor máximo permisible. En caso contrario el programa enviará mensaje sugiriendo la selección del valor.

tor (FK2), dependerá del tipo de diseño del motor.

- La constante de la ranura del motor (FK2) se evalúa a través de la evaluación de la reactancia de la ranura.

b.2.) Las pérdidas mecánicas de ventilación y carga dispersa son asumidas proporcionales a la potencia. Útil del motor a diseñarse.

El programa se desarrollan dos procesos interactivos independientes:

El primero es la variación de la densidad de flujo en dientes, desde su valor base asumida hasta el valor máximo permisible en las cuales se determinan las correspondientes densidades en la corona, entrehierro y el número de espiras por bobina.

El segundo proceso interactivo co

responde que para un valor asumido del factor de relleno (FR), se determina diámetro del conductor, selección del calibre y características de funcionamiento; para cada valor de número de espiras. por bobina.

Con las características de funcionamiento y en base a criterios de densidad de corriente y corriente nominal del motor, se selecciona las alternativas, las que incluyen adicionalmente las características de funcionamiento en condiciones máximas, arranque y cantidad de material (Peso del conductor) para propósito del devanado.

Procédase luego a incrementar el factor de relleno, repitiéndose otra vez al proceso anterior descrito.

En todo caso, el valor máximo del factor de relleno deberá ser menor o igual a 0.80. Terminando el proceso iterativo, el programa calcula las dimensiones de las bobinas y da las

especificaciones de los arrollamientos, para objetos de construcción - de bobinas y la ejecución practica del devanado..

c) La forma en que se imprimen los resultados son:

c.1) Datos de funcionamiento asumidos para el motor

c.2) Potencia útil aproximada.

c.3) Tabulación de valores de densidad - de flujo y correspondiente número de conductores.

c.4) Número de alternativa seleccionada y para cada alternativa lo siguiente:

1.- Especificaciones de conductores calculados.

2.-Valores de parámetros en funcionamiento normal.

3.- Características de funcionamiento: normal, arranque y máxima.

- 4.- valores de parámetros en el arranque.
- 5.- Pérdidas de cobre, magnéticas y Mecánicas
- 6.- Peso total del Alambre y especificaciones del devanado a realizarse.
- 7.- Dimensiones de la bobina.

d) Del conjunto de Alternativas seleccionadas, se escogerá la alternativa en base a criterios de torque arranque, corriente de arranque, factor de potencia y torque máximo.

e) Puede suceder que en la ejecución del Programa, no se ha seleccionado ninguna alternativa, en tal caso el programa en via mensaje sugiriendo la utilización de la variable de control (IAL1), la cuál asignándole el valor igual a "1", se obtiene opción a observar y analizar los resultados de las características de funcionamiento nominales y además se leccionar el valor de la densidad de co rriente a asignarse a la variable de en

trada (DUD).

En el programa también se tiene la variable de corrección (FCX), que tiene por objeto ajustar los valores de las reactancias teóricas con los valores correspondientes a las reactancias experimentales obtenidas en las pruebas sometidas al motor rediseñado

3.2. SUBROUTINA FASE

Tiene por objeto calcular la constante de zona de fase (CZF). Esta constante es función de:

- a) Paso de bobina (ybob)
- b) Paso polar diametral (ypolar)
- c) Conexión entre grupos polo-fase (cpolar)

3.2.1. Procedimiento.

La subrutina admite valores de paso de bobina (Ybob), el paso polar (Ypolar)

y conexión polar (cpolar).

De acuerdo al valor de la variable C_{polar} , se tendrá conexiones para polos reales o polos consecuentes, siendo así:

$C_{polar} \leq 0$, conexión de polos reales.

$C_{polar} > 0$, conexión de polos consecuentes

Los puntos principales en la toma de decisiones son:

- a.- Para conexión de polos reales $Y_{bob}/Y_{polar} > 2$, Y_{polar} , el programa envía mensaje siguiente "El paso de bobina ha sido mal seleccionado.
- b.- Para conexión de polos consecuentes, si $Y_{bob}/Y_{polar} > 1,33$, el programa envía mensaje idéntico al anterior.
- c.- Para valores de (Y_{bob}/Y_{polar}) distintos a los puntos 1 y 2, se calcula la constante de zona de fase (CZF), para ingresar el valor al programa principal "PTOR1"

3.3. ARCHIVO DE DATOS "DTABLA"

Este archivo contiene el listado de valores correspondientes a especificaciones de las características de los conductores de alambre circular tipo cobre desde calibre N° 10 hasta N° 30, según clasificación AWG.

también contiene conjunto de pares ordenados correspondientes de pérdidas magnéticas en hierro para frecuencias desde 10HZ a 60HZ. El Anexo A, muestra los valores anteriormente descritos.

3.4. ARCHIVO DE DATOS "DTORI"

Este archivo contiene el listado de las variables donde se especifican los valores asumirse para las características de funcionamiento, dimensiones del núcleo, ranuras del Estator y rotor, constantes, etc. Para propósitos de rediseño y para mayor información, en el anexo B, están representadas el listado de las variables, su significado, tipo de variable y formato.

3.5. DIAGRAMA DE FLUJO

Se describe los puntos principales del programa "TOR1". El listado del programa "PIOR1", subrutina "SFASE" y el archivo de datos "DRABLA" son también presentados.

3.6. PROGRAMA "TOR2"

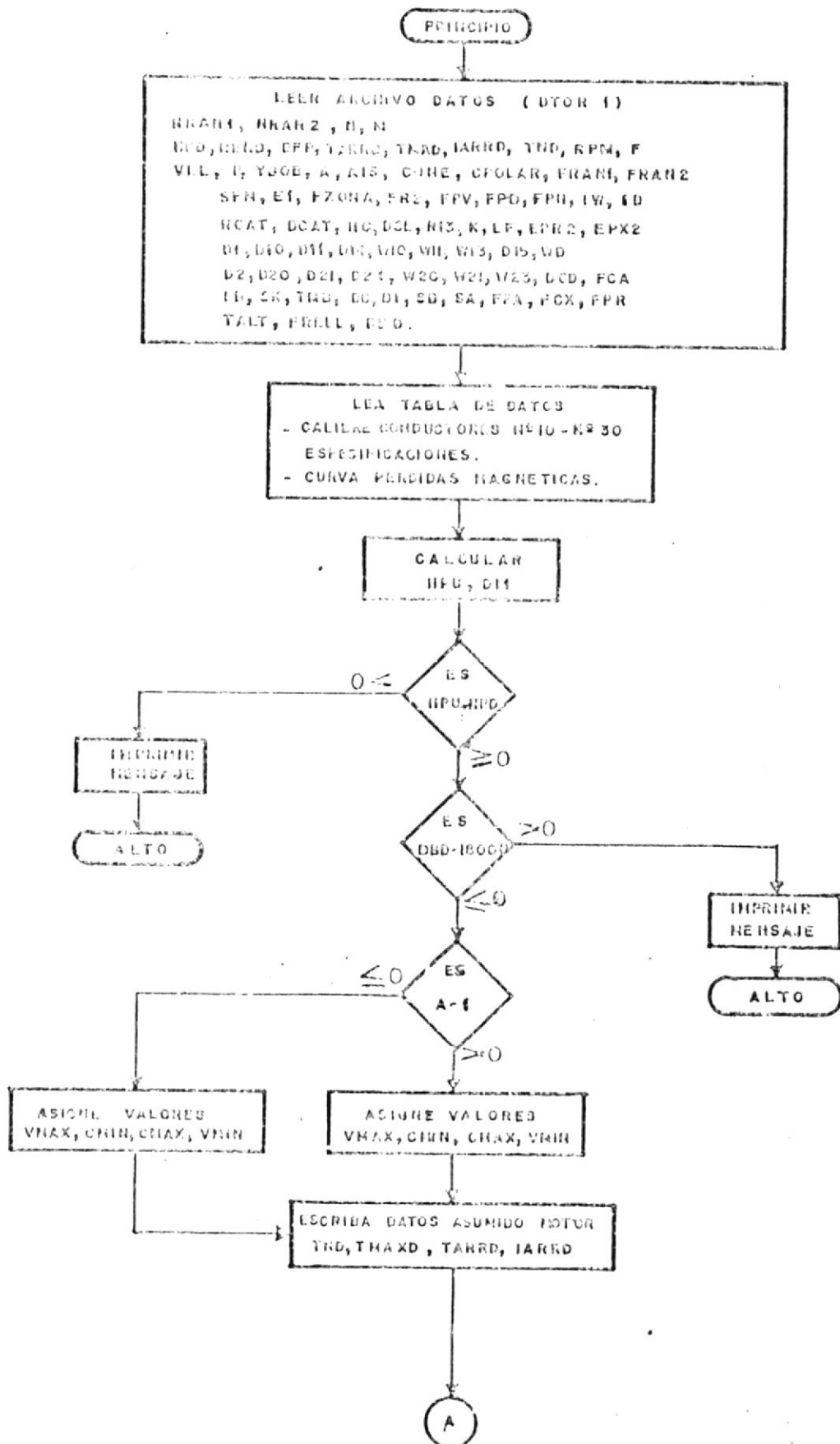
3.6.1. Objetivos

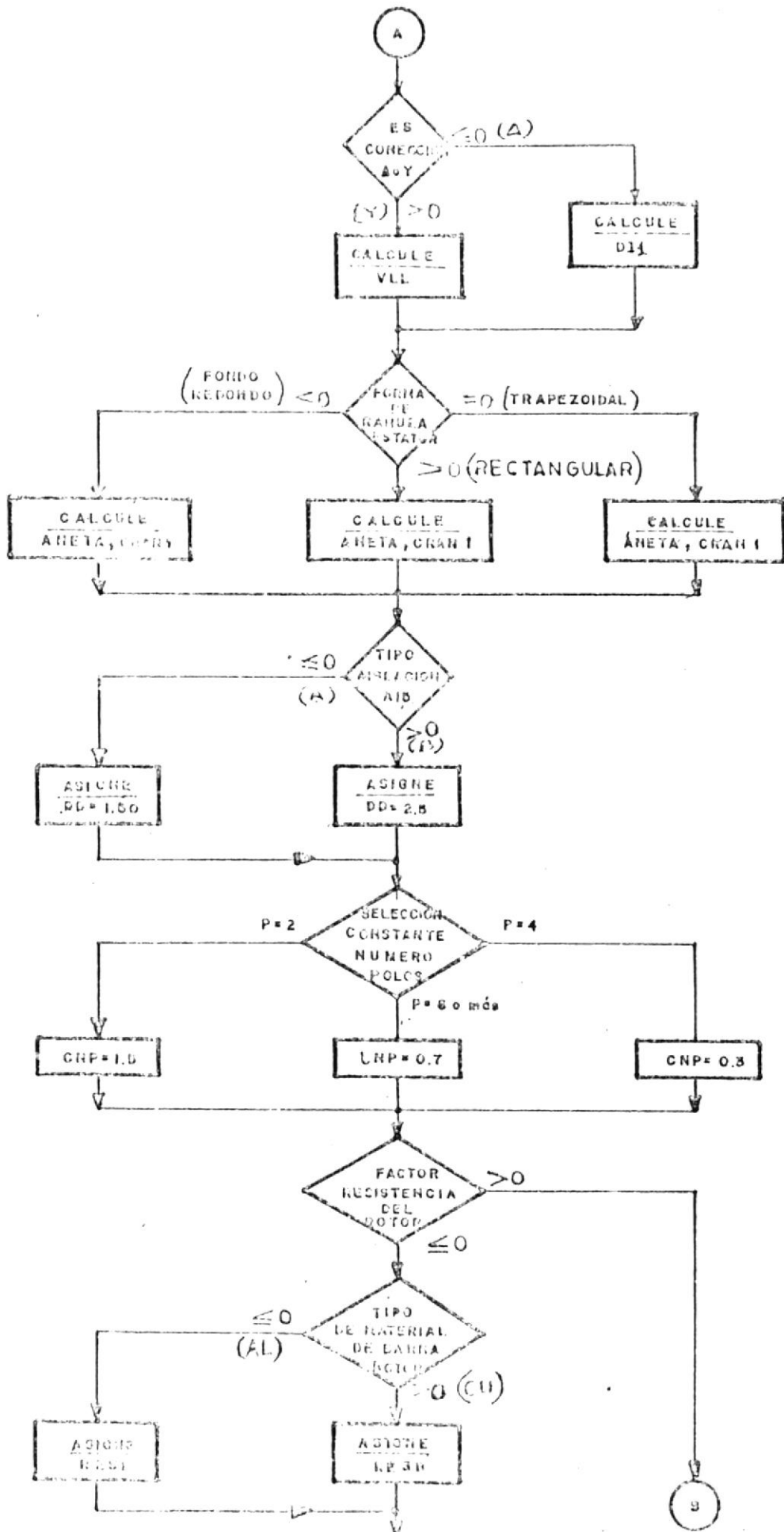
Los objetivos principales del programa son:

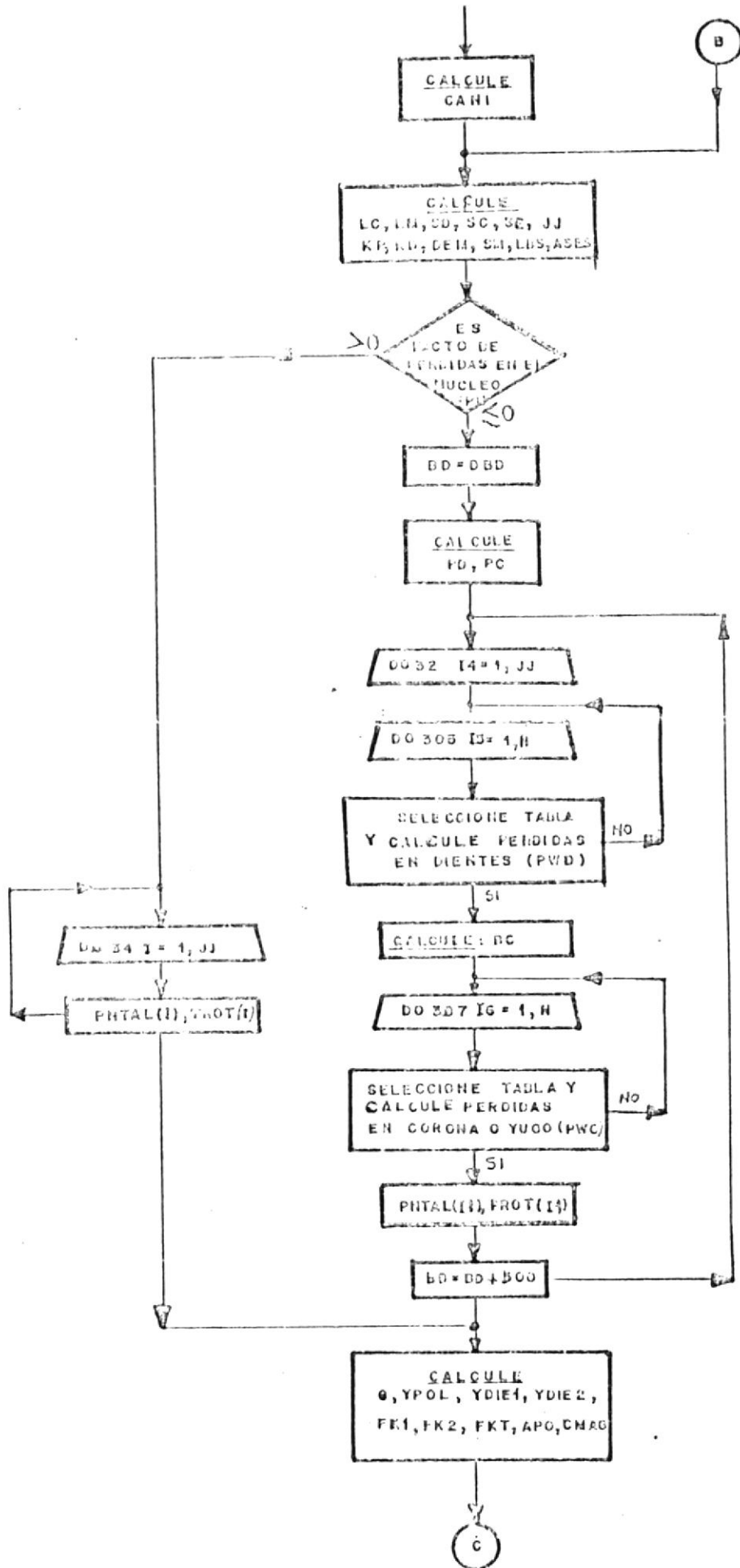
- 1.- Calcular parámetros de la máquina de Inducción para dos condiciones de funcionamiento: Normal y arranque; En base a resultados de pruebas experimentales siguientes:
 - Prueba de vacío Normal o Vacío Ideal
 - Prueba de rotor bloqueado a tensión reducida.

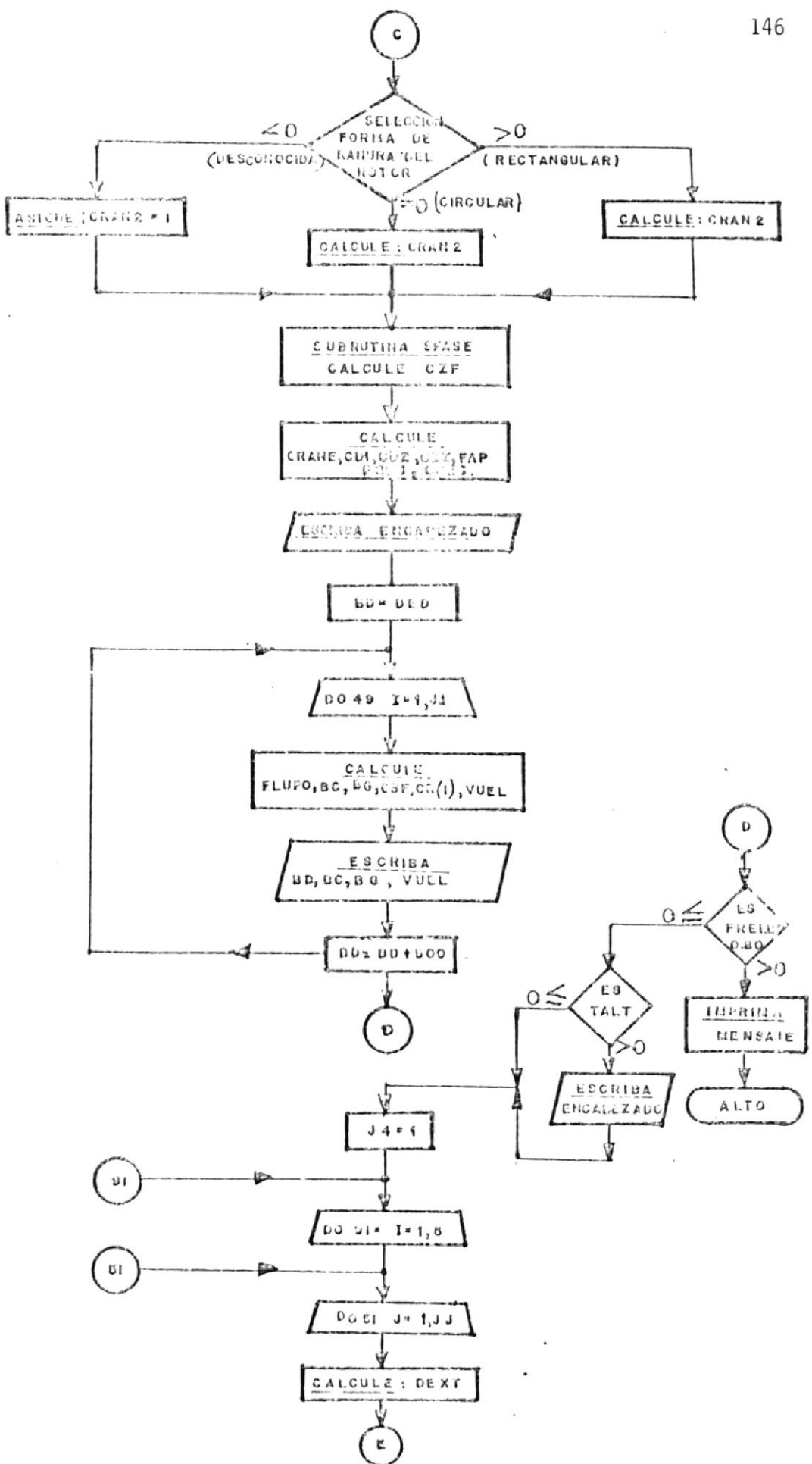
- 2.- Construcción del diagrama de círculo i a partir de este determinar el comportamiento de la máquina bajo diferentes puntos de funcionamiento y compararlos con los resultados teóricos experimentales.

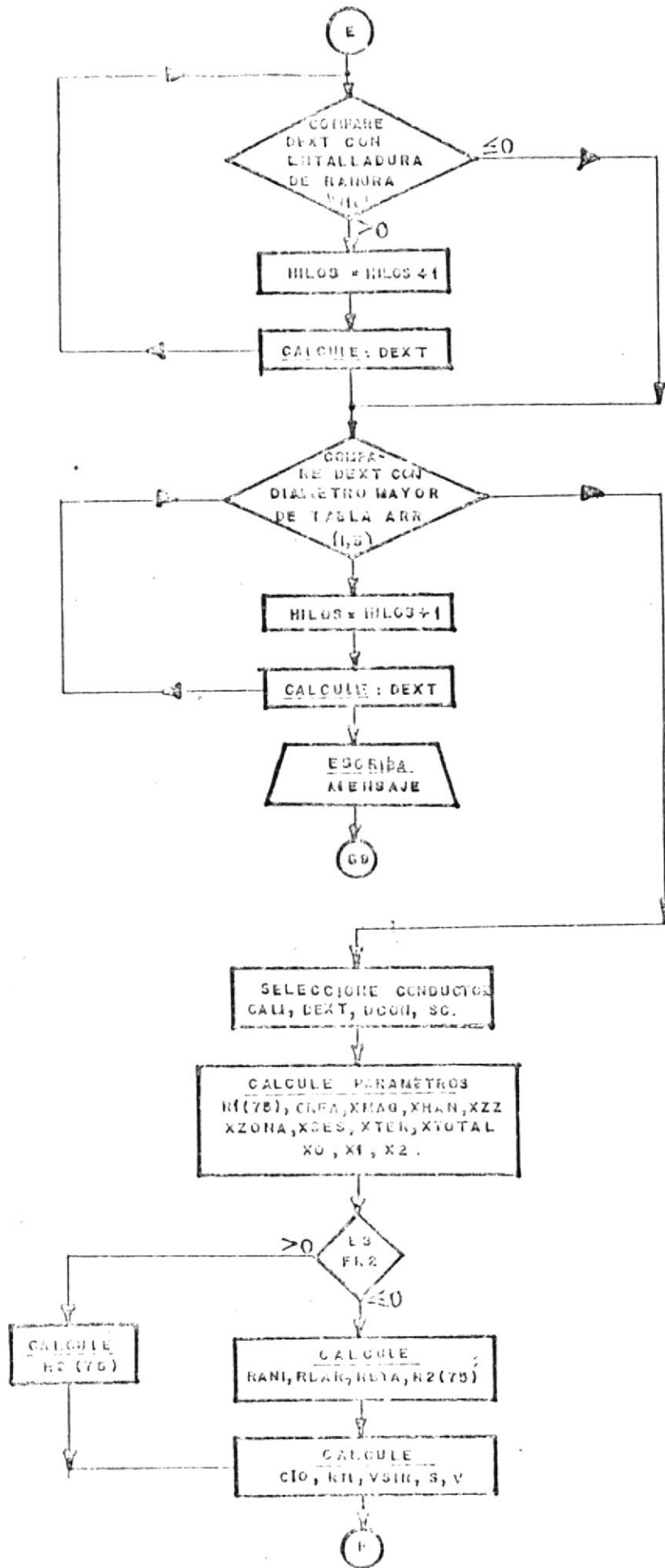
PROGRAMA ". TOR 1 "

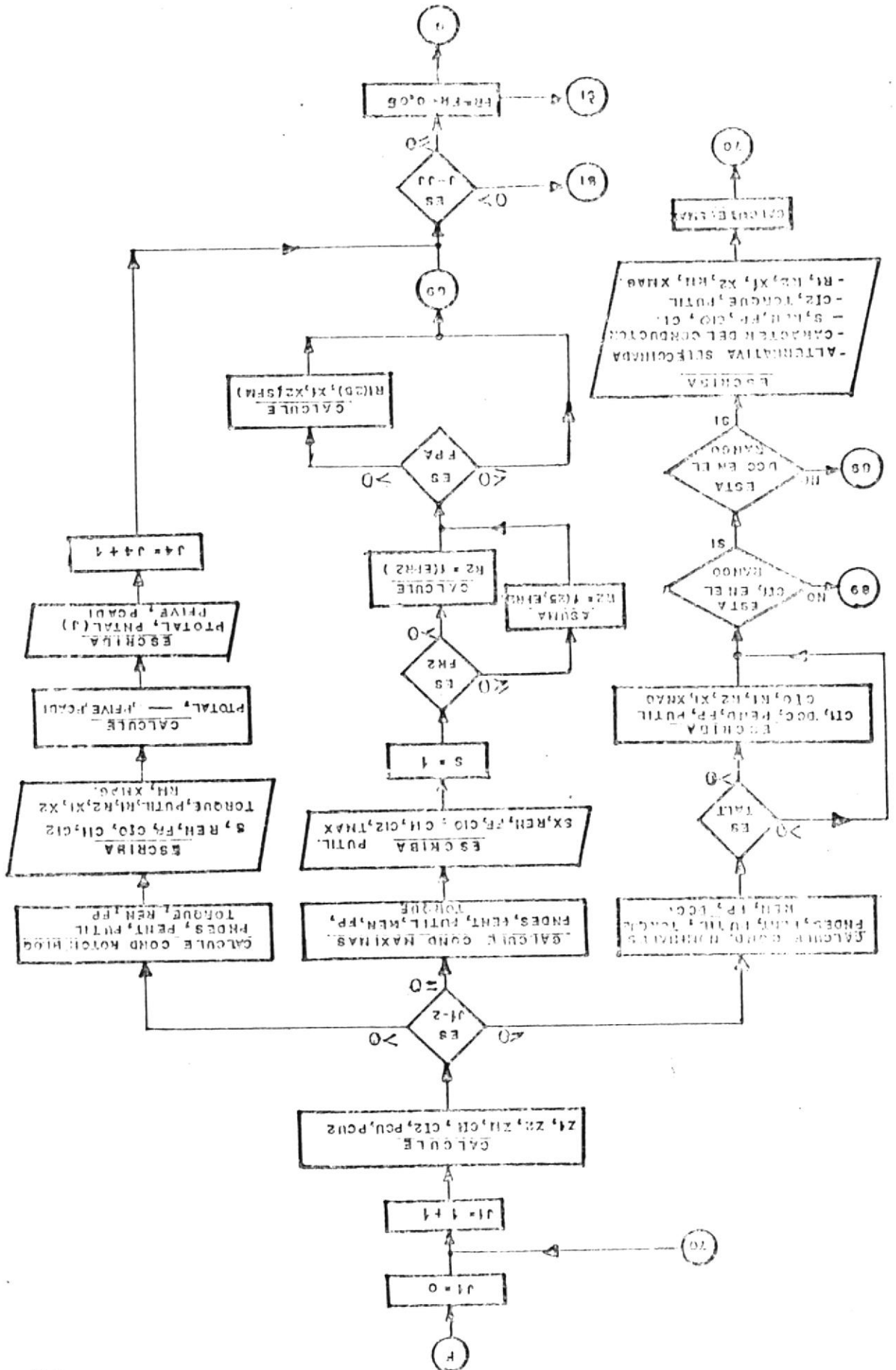


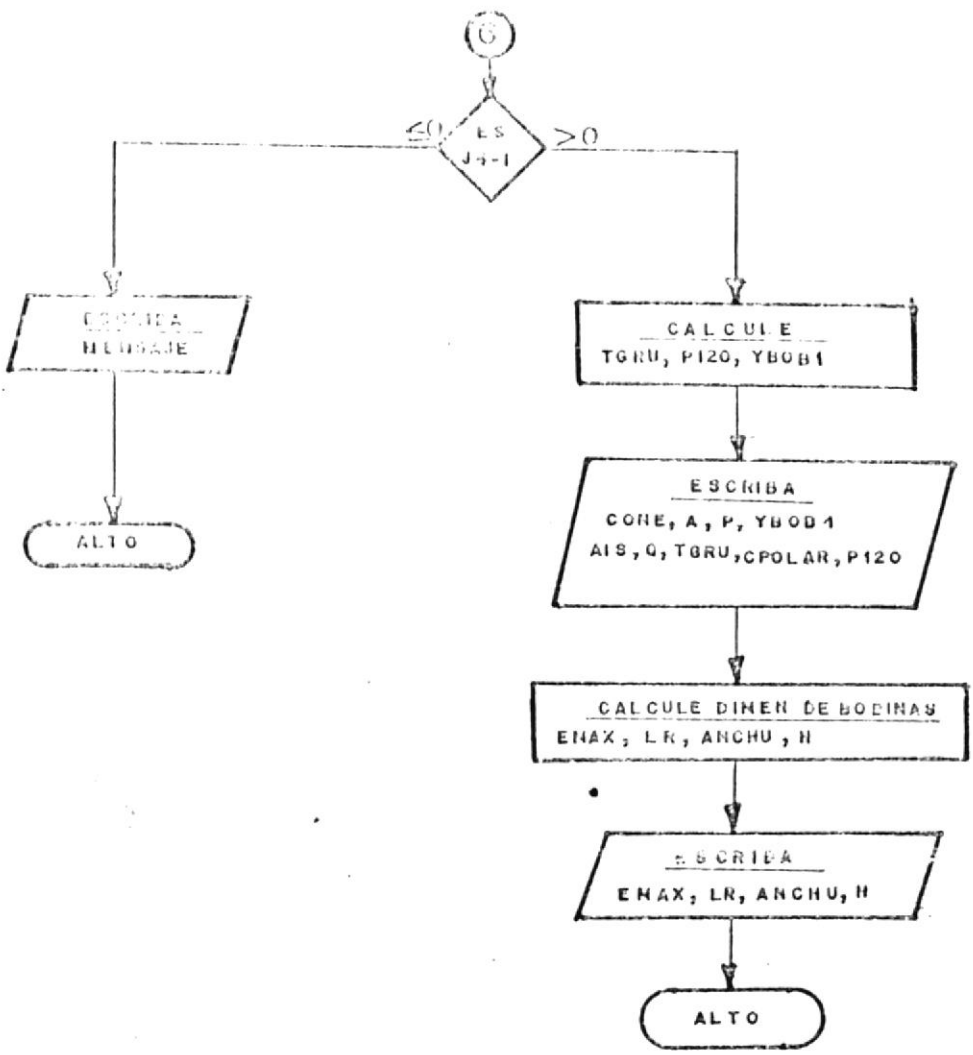




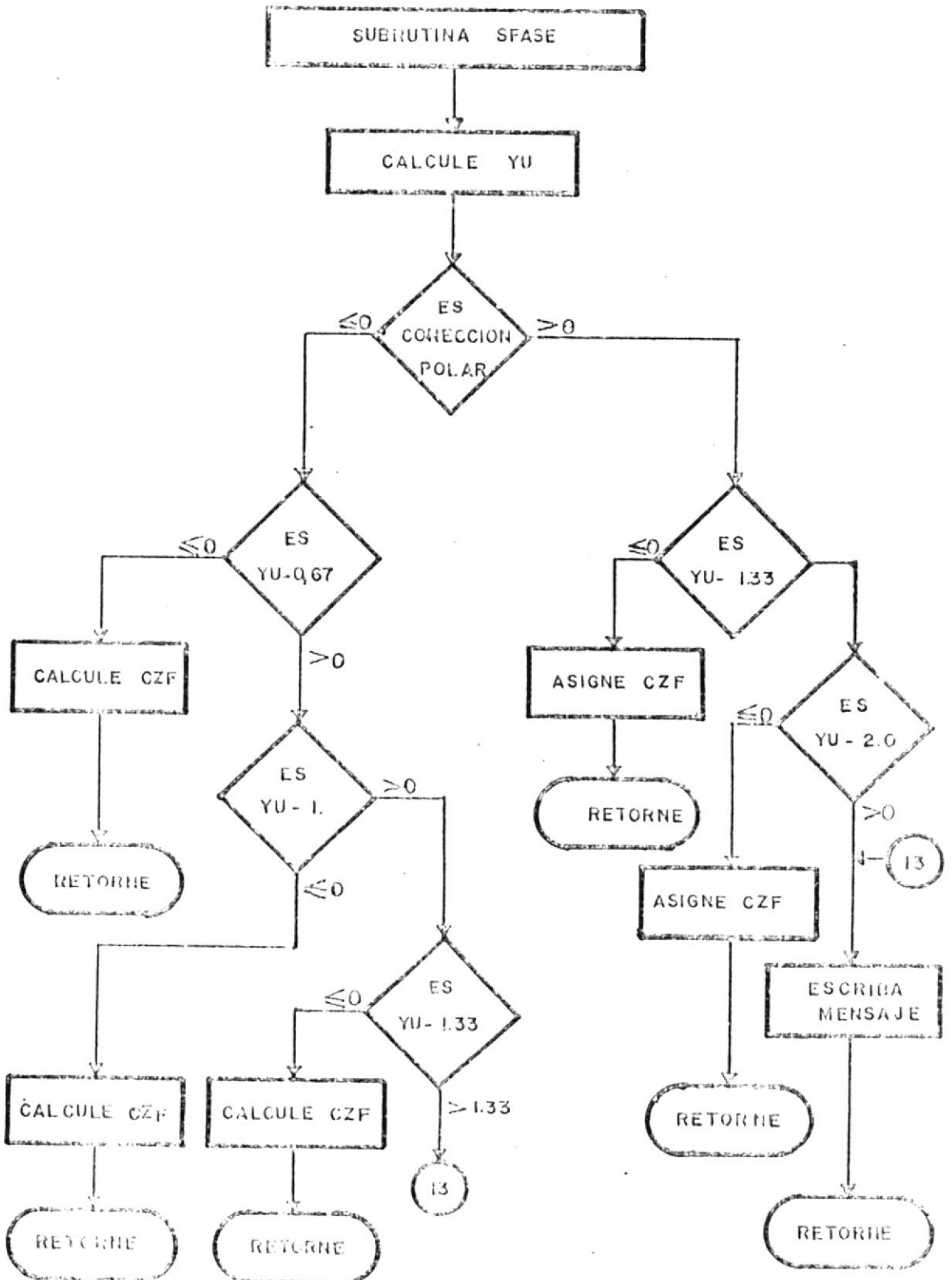








ESTRUCTURA DE CALCULO DE FACTOR ZONA FASE



```

C ***** MARCO TORO GALVEZ *****
C *** PROGRAMA DE CALCULO DE NUMERO DE CONDUCTORES Y SU DIAMETRO ***
DIMENSION CP(20),ARR(25,6),PNTAL(20),PRUF(20)
REAL RD,NP,IC,LF,LR,K,IG,IR,LM,LR,LBS,LB,NCAT
COMPLEX Z1,Z2,ZM,I1,I2,Z1,V
READ(1,110)NRAN1,NRAN2,M
READ(1,120)HPD,REND,DFP,TARRD,IMAXD,IARRD,TND,RPM,F,VLL,P,YCBC,A,APTCO
*IS,CONE,CPLAR,IRAN1,IRAN2,SFM,E1,FZONA,FR2,FPV,FPD,FPA,IR,IO,NCATPTCO
*,DCAT,HC,DCL,R13,K,LF,LPR2,EPX2,D1,D10,D11,D14,w10,w11,w13,D15,W0,PTCO
*D2,L20,D21,D24,w20,w21,w23,DCD,FCA,LB,SK,IMB,GC,DI,SB,SA,FPA,FCX,FPTCO
*PR,TALI,FKELL,DBD
C *** LEA TABLA DE DATOS ***
N=21
DO 2 I=1,N
2 READ(2,100)ARR(I,J),J=1,6)
C *** CALCULE POTENCIA UTIL APROXIMADA ***
HPU=2.435/*D2**2.*LF*RPM*1.E-06
D11=HPD*746./((1.732*VLL*DFP*REND)
C *** COMPARE POTENCIA APROXIMADA CON POTENCIA UTIL ***
IF(HPU-HPD)3,4,4
3 WRITE(3,190)
CALL EXIT
C *** COMPARE DENSIDAD DE FLUJO ASUMIDA CON VALOR MAXIMO ***
4 IF(DBG-18000)402,402,401
401 WRITE(3,191)
CALL EXIT
C *** SELECCIONE NUMERO DE CIRCUITOS EN PARALELO ***
402 IF(A-1)5,5,6
5 VMAX=VLL
CMIN=D11
VMIN=VLL
CMAX=L11
GO TO 7
6 VMAX=VLL
VMIN=VLL*2.
CMIN=D11
CMAX=D11/2.
C *** ESCRIBA VALORES ASUMIDOS PARA EL MOTOR ***
7 WRITE(3,192)HPD,VMAX,VMIN,CMIN,CMAX,REND
WRITE(3,193)DFP,RPM,TND,IMAXD,IARRD,IARRD
C *** SELECCIONE TIPO DE CONEXION ESTRELLA O DELTA ***
IF(CONE)8,8,9
8 L11=D11/1.73
GO TO 10
9 VLL=VLL/1.732
10 WRITE(3,200)HPU
C *** SELECCIONE FORMA DE RANURA DEL ESTATOR ***
IF(IRAN1)12,13,14
12 ANETA=((W11+W13)/2.-IW)*(D15-ID+IW/2.)*3.1416/2.*(R13-IW/2.-I)**2.
CRA1=E1+(D10/W10)+(2*D11)/(W10+W11)
GO TO 15
13 ANETA=((W11+W13)/2.-IW)*(D15-ID)
CRA1=E1+(D14/W13)+(D10/W10)+(2*D11)/(W10+W11)
GO TO 15
14 ANETA=((W11+W13)/2.-IW)*(D15-ID)
CRA1=(D10/W10)+(2*D11/(W13+W10))+(D14/(3*W13))
C *** SELECCIONE TIPO DE AISLACION UTILIZADA ***
15 IF(AIS)17,17,18
17 DD=1.5
GO TO 19

```

18	DD=2.5	PT000610
19	IF(P-4)20,21,22	PT000620
C ***	SELECCION DE CONSTANTE DEL NUMERO DE POLOS ***	PT000630
20	CNP=1.5	PT000640
	GO TO 23	PT000650
21	CNP=0.7	PT000660
	GO TO 23	PT000670
22	CNP=0.3	PT000680
C ***	CALCULE O ASUMA VALOR DE RESISTENCIA DEL ROTOR ***	PT000690
23	IF(FR2)25,25,29	PT000700
25	IF(FR2)26,26,27	PT000710
26	RESB=C.C269/100.	PT000720
	GO TO 28	PT000730
27	RESB=0.0175/100.	PT000740
C ***	FACTOR DE DISTRIBUCION NO UNIFORME DE LA CORRIENTE ***	PT000750
28	CAN1=(P/2)*(1-(DIA/DCA)*(1+(DIA/DCA)**P)/(1-(DIA/DCA)**P))	PT000760
29	NBD=DED	PT000770
	JJ=(18000-NBD)/500+1	PT000780
	LC=LF-(KCA1*DCA)	PT000790
	LN=K*LC	PT000800
C ***	CALCULE SECCION DIENTES DEL ESTATOR ***	PT000810
	SD=NRAN1*WD*LN/P	PT000820
C ***	CALCULO DEL AREA DEL YOGO O CARINA ***	PT000830
	SC=(HC-(2.*DCL/3.))*LN	PT000840
C ***	CALCULO DEL AREA DEL ENTREHIERRO ***	PT000850
	SG=3.1416*D1*LC/P	PT000860
C ***	CALCULO DE FACTORES DE PASO Y DISTRIBUCION ***	PT000870
	YPCLAR=NRAN1/P	PT000880
	KP=SIN(YBGB*3.1416/(2.*YPCLAR))	PT000890
	Q=NRAN1/(M*P)	PT000900
	ALPHA=180.*P/(57.3*NRAN1)	PT000910
	KD=SIN(C*ALPHA/2.)/(C*SIN(ALPHA/2.))	PT000920
L ***	DIAMETRO MEDIO DEL ESTATOR ***	PT000930
	DEM=D1+D15*C10*D11	PT000940
	A1=3.1416*DEM*YBGB/(2.*NRAN1)	PT000950
	LM=(W11+W13)/2.-C.15	PT000960
	EVAL=(LM*NRAN1/(3.1416*DEM))**2.	PT000970
	EVAL1=ABS(1-EVAL)	PT000980
	SINB=SQR(1-EVAL1)	PT000990
	TANB=SQR((1./EVAL1)-1.)	PT01000
	BETA=ATAN(TANB)*57.3	PT01010
C ***	LONGITUD MEDIA DEL CONDUCTOR ***	PT01020
	AD=(A1-0.5-(LM/2.0))/SINB-(CNP/TANB)	PT01030
	R1=0.5+(LM/2.)	PT01040
	RR1=R1	PT01050
C ***	LONGITUD DE LA ESPIRA MEDIA ***	PT01060
	SH=2*LF+4*BD+4.*AG+(3.1416*R1*BETA*RR1*(90-BETA))/45.	PT01070
C ***	CALCULO DE LA RESISTENCIA DEL ROTOR ***	PT01080
	LBS=SQR((LB**2.+SK**2.))	PT01090
	ASES=ATAN(SK/LB)*57.3*P/2	PT01100
C ***	CALCULO DE PERDIDAS EN EL NUCLEO ****	PT01110
	IF(FPN)30,30,33	PT01120
30	BD=DED	PT01130
	PD=WD*LN*D15*NRAN1*7.6/1000	PT01140
	PC=3.1416*(D1**2.-(D1-D15)**2.)*LN*7.6/(1000*4)	PT01150
	GO 32 14=1,JJ	PT01160
	GO 303 15=1,N	PT01170
	D=ARR(15,6)-BD	PT01180
	IF(B)302,301,301	PT01190
301	PHD=PD*ARR(15,5)*F	PT01200

	GC TO 304	PT001210
302	CONTINUE	PT001220
303	CONTINUE	PT001230
304	BC=BD*SD/(3.1416*SC)	PT001240
	DO 307 10=1,N	PT001250
	B=ARR(10,6)-BC	PT001260
	IF(B)300,305,305	PT001270
305	PWC=PC*ARR(10,5)*B	PT001280
	GC TO 308	PT001290
306	CONTINUE	PT001300
307	CONTINUE	PT001310
308	PNTAL(14)=(PWC*PWC)*1.05	PT001320
	PRGT(14)=PNTAL(14)*0.40	PT001330
	BD=BD+500	PT001340
32	CONTINUE	PT001350
	GC TO 35	PT001360
C ***	CALCULO DE LAS CONSTANTES DEL CIRCUITO MAGNETICO ***	PT001370
33	DO 34 1=1,JJ	PT001380
	PNTAL(1)=FPN	PT001390
	PRGT(1)=FPR	PT001400
34	CONTINUE	PT001410
35	G=(D1-D2)/2.	PT001420
C ***	CALCULO DEL PASO POLAR ***	PT001430
	YPOL=(3.1416*D1)/P	PT001440
C ***	CALCULO PASO DEL DIENTE ESTATOR Y ROTOR ***	PT001450
	YDIE1=3.1416*D1/NRAN1	PT001460
	YDIE2=3.1416*D2/NRAN2	PT001470
C ***	CALCULO DEL FACTOR DE CARTER DEL ESTATOR Y ROTOR ***	PT001480
	FK1=(YDIE1*(5*G+W10))/((YDIE1*(5*G+W10))-W10**2)	PT001490
	FK2=(YDIE2*(5*G+W20))/((YDIE2*(5*G+W20))-W20**2)	PT001500
C ***	FACTOR DE CARTER TOTAL ***	PT001510
	FKT=FK1+FK2	PT001520
C ***	LONGITUD DE LA TRAYECTORIA MAGNETICA ***	PT001530
	ILG=FKT*G	PT001540
C ***	AREA POLAR Y COEFICIENTE DE MAGNETIZACION ***	PT001550
	APC=LF*YPOL	PT001560
	CMAG=APC/(ILG*P*SM)	PT001570
C ***	CONSTANTE DE RANURA DEL ROTOR ***	PT001580
	IF(FRAN2)41,42,43	PT001590
41	CRA2=D20/W20+-.625	PT001600
	GC TO 44	PT001610
42	CRA2=(D20/W20)+(2*D21/(W23+W20))+{D24/(3*W23)}	PT001620
	GC TO 44	PT001630
43	CRA2=FRAN2	PT001640
C ***	SUBROUTINA SFASE PARA SELECCIONAR (CZF)*****	PT001650
44	CALL SFASE(YBGB,YPOLAR,CPOLAR,CZF)	PT001660
C ***	CONSTANTE DE RANURA EQUIVALENTE ***	PT001670
	CRANE=CRA1*CZF+(NRAN1*CRA2*(KC*KP)**2.)/NRAN2	PT001680
C ***	CARA DEL DIENTE DEL ESTATOR Y ROTOR ***	PT001690
	CD1=YDIE1-W10	PT001700
	CD2=YDIE2-W20	PT001710
C ***	CONSTANTE DE ZIG-ZAG ***	PT001720
	CZZ=(CD1+CD2)**2/(4*(YDIE1+YDIE2))	PT001730
C ***	FACTOR DE FLUJO PRIMARIO Y FACTOR DE SESGO ***	PT001740
	FFP=1.-(P/100.)	PT001750
	FSES=0.25*(ASES/100)**2	PT001760
C ***	COEFICIENTE DE SESGO ***	PT001770
	ASES1=ASES/57.3	PT001780
	CSES=SIN(ASES1*0.5)/(ASES1*0.5)	PT001790
C ***	EVALUACION DE LAS DESINDADES DE FLUJO ***	PT001800

```

WRITE(3,210)
DD=DDD
DO 49 I=1,JJ,1
FLUPG=2.*BC*SC/3.1416
C *** CALCULE DENSIDAD DE FLUJO EN CORONA ***
BC=FLUPG/(2.*SC)
C *** CALCULE DENSIDAD DE FLUJO EN ENTREHIERRO ***
BG=FLUPG*3.1416/(2.*SG)
C *** CALCULE NUMERO DE CONDUCTORES EN SERIE POR FASE ***
CSF=(.97*VLL*1.EC8)/(2.22*F*FLUPG*KD*KP)
C *** CALCULE NUMERO DE VUELTAS ***
VUEL=CSF*.A/(2.*NRANI)
C *** SELECCION DEL NUMERO DE CONDUCTORES EN RANURA ***
NVUEL=VUEL
CR(1)=NVUEL*2.
C *** CALCULE NUMERO DE CONDUCTORES EN RANURA ***
VUEL=CR(1)/2.
WRITE(3,212)BC,BC,BG,VUEL
DD=DD+500
49 CONTINUE
C *** CALCULE DIAMETRO DEL CONDUCTOR ***
FR=FRLLL
IF(.80-FR)409,410,410
409 WRITE(3,206)
CALL EXIT
410 EJEC=(.85-FR)/0.05
I3=EJEC+1
IF(IALT)52,52,50
50 WRITE(3,211)
52 J4=1
DO 91 I=1,I3,1
DO 51 J=1,JJ,1
HILOS=1.
DEXT=(SQRT(FR*4.*ANETA/(HILOS*3.1416*CR(J))))/0.1
C *** COMPARE DEXT CON ENTALLADURA DE RANURA ***
53 IF(1.5*DEXT-(10*.10))55,55,54
54 HILOS=HILOS+1.
DEXT=(SQRT(FR*4.*ANETA/(HILOS*3.1416*CR(J))))/0.1
GO TO 53
C *** COMPARE DEXT CON DIAMETRO MAYOR DE LA TABLA ***
55 IF(DEXT-ARR(1,3))57,57,56
56 HILOS=HILOS+1.
DEXT=(SQRT(FR*4.*ANETA/(HILOS*3.1416*CR(J))))/0.1
GO TO 55
C *** SELECCION DE CALIBRE DE CONDUCTOR ***
57 DO 60 LL=1,N
IF(ARR(LL,3)-DEXT)58,58,59
58 K=ARR(LL,1)
GO TO 61
59 CONTINUE
FVX=ARR(LL,1)
60 CONTINUE
WRITE(3,194)
GO TO 89
61 K3=LL+9
K2=LL
ESPI=CR(J)*NRANI/(6.*A)
SC=ARR(K2,4)
CSF=ESPI*2.
C *** EVALUACION DE PARAMETROS ***

```

```

PT001810
PT001820
PT001830
PT001840
PT001850
PT001860
PT001870
PT001880
PT001890
PT001900
PT001910
PT001920
PT001930
PT001940
PT001950
PT001960
PT001970
PT001980
PT001990
PT002000
PT002010
PT002020
PT002030
PT002040
PT002050
PT002060
PT002070
PT002080
PT002090
PT002100
PT002110
PT002120
PT002130
PT002140
PT002150
PT002160
PT002170
PT002180
PT002190
PT002200
PT002210
PT002220
PT002230
PT002240
PT002250
PT002260
PT002270
PT002280
PT002290
PT002300
PT002310
PT002320
PT002330
PT002340
PT002350
PT002360
PT002370
PT002380
PT002390
PT002400

```


C ***	RESISTENCIA DEL DEVANADO PRIMARIO ***	PT00255
	R125=FCA*G.0175*E*SP1*SA/(SC*A*H*LC*1.E02)	PT00256
	R1=R125*309.5/259.5	PT00257
C ***	CALCULO DE CONSTANTE DE REACTANCIA ***	PT00258
	CREA=2*3.1416*F*1.E-08*(CSI*KD*KP)**2	PT00259
C ***	CALCULO DE REACTANCIA MAGNETIZANTE ***	PT00260
	XMAG1=CREA*.1273*CMAG*M	PT00261
C ***	REACTANCIA DE RANURA ***	PT00262
	XKAN=(CREA*1.255*M*LF*CRANE)/(NRANI*(KD*KP)**2.)	PT00263
C ***	REACTANCIA DE ZIG-ZAG ***	PT00264
	XZZ=(CREA*0.4193*M*LF*CZZ)/(NRANI*G)	PT00265
C ***	REACTANCIA DE ZONA ***	PT00266
	XZONA=CREA*.0004646*M*CMAG*FZONA	PT00267
C ***	REACTANCIA DE SESGO ***	PT00268
	XSES=CREA*.1273*M*CMAG*FFP*FSES	PT00269
C ***	REACTANCIA DE TERMINALES ***	PT00270
	XTER=(CREA*0.6181*M*DE*YBOB)/(NRANI*P)	PT00271
C ***	REACTANCIA MAGNETIZANTE CONSIDERANDO CGEF. DE SESGO ***	PT00272
	XMAG2=CREA*0.1273*CSSES*M*CMAG	PT00273
	IF(ASES)64,64,65	PT00274
64	XMAG=XMAG1	PT00275
	GO TO 66	PT00276
65	XMAG=XMAG2	PT00277
C ***	REACTANCIA TOTAL DE DISPERSION ***	PT00278
66	XTOTAL=(XKAN+XZZ+XZONA+XSES+XTER)*FCX	PT00279
C ***	REACTANCIA EN CIRCUITO ABIERTO ***	PT00280
	XO=XMAG+XTOTAL/2.	PT00281
C ***	REACTANCIA PRIMARIA ***	PT00282
	X1=XO-XMAG	PT00283
C ***	REACTANCIA SECUNDARIA ***	PT00284
	X2=X1/EPX2	PT00285
	XTOTAL=X1+X2	PT00286
C ***	RESISTENCIA DEL ROTOR REFERIDA AL ESTATOR ***	PT00287
	IF(FR2)67,67,68	PT00288
67	RANI=0.64*CANI*DCA/(P**2.*SA)	PT00289
	RBAR=LBS/(SB*NRAN2)	PT00290
	RBYA=CSF**2*KD**2*KP**2*M*KESB*(RBAR+RANI)	PT00291
	R2=RBYA*309.5/259.5	PT00292
	GO TO 69	PT00293
68	R2=FR2*X1	PT00294
C ***	RESISTENCIA MAGNETIZANTE ***	PT00295
69	CI0=VLL/XO	PT00296
	RM=PI*TAL(J)/(CI0**2.*M)	PT00297
C ***	CALCULO DE CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO ***	PT00298
	VSIN=120*F/P	PT00299
	S=(VSIN-RPM)/VSIN	PT00300
	V=CMPLX(VLL,G.)	PT00301
	J1=0	PT00302
70	J1=J1+1	PT00303
	Z1=CMPLX(R1,X1)	PT00304
	Z2=CMPLX(R2/S,X2)	PT00305
	ZM=CMPLX(RM, XMAG)	PT00306
	ZI=Z1+((Z2*ZM)/(Z2+ZM))	PT00307
	I1=V/ZI	PT00308
	I2=I1*(ZM/(Z2+ZM))	PT00309
	C11=CABS(I1)	PT00310
	C12=CABS(I2)	PT00311
	PCU1=C11**2.*R1*M	PT00312
	PCU2=C12**2.*M*R2	PT00313
	IF(J1-2)71,82,88	PT00314

C ***	CONDICIONES A PLENA CARGA ***	
71	PMDES=PCU2*(1-S)/S	PT003010
	PENT=PCU1+PCU2+PNIAL(J)+PMDES	PT003020
	PUTIL=PMDES-PROT(J)-FPV-FPD	PT003030
	TORQUE=0.974*PUTIL/RPM	PT003040
	REN=PUTIL/PENT	PT003050
	FP=PENT/(VLL*H*C11)	PT003060
	PUTIL=PUTIL/746.	PT003070
	DCC=C11/(HILOS*ARR(K2,4)*A)	PT003080
	IF(ITLT)702,702,701	PT003090
701	WRITE(3,215)C11,DCC,REN,FP,PUTIL,C10,R1,R2,X1,XMAG	PT003100
C ***	VERIFICACION DE CONDICIONES NOMINALES ***	PT003110
702	IF(C11-0.95*C11)73,73,72	PT003120
72	IF(1.05*C11-C11)73,73,74	PT003130
73	GO TO 89	PT003140
C ***	VERIFICACION DE DENSIDAD DE CORRIENTE ***	PT003150
74	IF(DCC-0.95*DCC)76,76,75	PT003160
75	IF(1.05*DCC-DCC)76,76,77	PT003170
76	GO TO 89	PT003180
77	VUEL=CR(J)/2.	PT003190
	WRITE(3,213) J4,VUEL,CR(J)	PT003200
	WRITE(3,214)	PT003210
	WRITE(3,216)(ARR(K2,J3),J3=1,4),HILOS	PT003220
	WRITE(3,222)	PT003230
	WRITE(3,224)R1,R2,X1,X2,RM,XMAG	PT003240
	WRITE(3,228)	PT003250
	WRITE(3,230)S,REN,FP,C10,C11,C12,TORQUE,PUTIL	PT003260
	PCU1N=PCU1	PT003270
	PCU2N=PCU2	PT003280
C ***	CALCULO DE PERDIDAS EN CONDICIONES NOMINALES ***	PT003290
C ***	CONDICIONES DE DESLIZAMIENTO MAXIMO ***	PT003300
	S=R2/SQRT(R1**2+(X1+X2)**2.)	PT003310
	GO TO 70	PT003320
82	PMDES=PCU2*(1-S)/S	PT003330
	PENT=PCU1+PCU2+PNIAL(J)+PMDES	PT003340
	PUTIL=PMDES-PROT(J)-FPV-FPD	PT003350
	FP=PENT/(VLL*H*C11)	PT003360
	REN=PUTIL/PENT	PT003370
	RPMM=(1-S)*VSIN	PT003380
	TMAX=0.974*PUTIL/RPMM	PT003390
	PUTIL=PUTIL/746.	PT003400
	WRITE(3,232)S,REN,FP,C10,C11,C12,TMAX,PUTIL	PT003410
C ***	CONDICIONES EN ROTOR BLOQUEADO ***	PT003420
	S=1.	PT003430
	IF(FR2)83,83,84	PT003440
C ***	CONSIDERE EFECTO DE PROFUNDIDAD DE BARRA ***	PT003450
83	RBAR=ILF*EPR2+(LBS-LF)/(SB*NRAN2)	PT003460
	RBYA=CSF**2.*KD**2.*KP**2.*M*RESB*(RBAR+RANI)	PT003470
	R2=RBYA	PT003480
	GO TO 85	PT003490
84	R2=R2*EPR2	PT003500
85	XTGIAL=2.*X1	PT003510
	X2=X1	PT003520
	IF(FPA)87,87,86	PT003530
86	R1=R125	PT003540
	X1=X1/SFM	PT003550
	X2=X1	PT003560
	IF(FR2)87,87,806	PT003570
806	R2=FR2*SFM*X1*EPR2	PT003580
87	CONTINUE	PT003590
		PT003600

```

GO TO 70
88  PMDS=PCU2*(1-S)/S
    TARR=C.974*PCU2/VSIN
    PENT=FCU1+PCU2*PNTAL(J)
    PUTIL=PMDES
    REN=PUTIL/PENT
    FP=PENT/(VLL*M*CI1)
    PUT11=PUTIL/740.
    WRITE(3,234)S,REN,FP,C10,C11,C12 ,TARR,PUTIL
    WRITE(3,222)
    WRITE(3,235)R1,R2,X1,X2,RM,XNAG
C *** CALCULO DEL PESO DEL COLECTOR EN KG ***
    PESO=(26.7*HILGS*SC*SM*ESPI*A)/1.E05
    DCON=ARR(K2,2)
    DEXT=ARR(K2,3)
    PIGTAL=PESO*1.076+(0.124*(DEX1/DCON)**2.1)
    WRITE(3,236)PIGTAL,PNTAL(J),PROT(J),FPD,FPV,PCU1N,PCU2N
    J4=J4+1
89  IF(J-JJ)90,92,92
90  CCNTINUE
91  CCNTINUE
92  FR=FR+0.05
91  CCNTINUE
    IF(J4-1)93,93,94
93  WRITE(3,240)
    CALL EXIT
C *** ESPECIFICACIONES DE ARROLLAMIENTOS ***
94  TGRU=P*M
    P120=2*NRAN1/(3*P)
    YBCB1=YBCB+1.
    WRITE(3,242)CCNE,A,P,YBOB1,AIS,Q,TGRU,CPOLAR,P120
C *** CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LAS BOBINAS ***
    CU=((A1-(1M/2.0)-C.5)/TANB)-(CNP/SINB)
    R=CNP*0.5
C *** CALCULO DE LA AMPLITUD MAXIMA ***
    EMAX=DD*CU+R+LM+0.15
C *** CALCULO DE LA PARTE RECTA ***
    LR=LF+2*DC
C *** CALCULO DE LA ANCHURA ***
    ANCHU=2*A1-LM+0.15
C *** CALCULO DE LA ALTURA ***
    H=CU+R
    WRITE(3,238)EMAX,LR,ANCHU,H
110  FORMAT(314)
120  FORMAT(9F8.3,/,9F8.3,/,9F8.3,/,9F8.3,/,9F8.3,/,9F8.3,/,9F8.3,/,3F8.
    *3,F10.2)
180  FORMAT(F6.3,4F6.4,F8.2)
190  FORMAT(1H1,2X,'POTENCIA UTIL (HPD) ASUMIDA ES ALTA SUGERENCIA ',/PT004080
    *,2X,'SELECCIONE OTRO VALOR MENOR',//)
191  FORMAT(1H1,2X,'DENSIDAD DE FLUJO (DBD) ASUMIDA ES ALTA SUGERENCIA PT004100
    *,/,2X,'SELECCIONE UN VALOR MENOR A 18000',//)
192  FORMAT(1H1,10X,'DATOS DE FUNCIONAMIENTO ASUMIDOS PARA EL MOTOR',//PT004120
    */,16X,'POTENCIA UTIL =',F6.1,/,16X,'VOLTAGE =',F6.1,/,F6.1,/,15XPT004130
    *,',CORRIENTE =',F6.1,/,F6.1,/,16X,'EFICIENCIA A PLENA CARGA =',F6.1,/,16X
    *4.2)
193  FORMAT(16X,'FACTOR DE POTENCIA A PLENA CARGA =',F4.2,/,16X,'VELOCIDAD PT004160
    *DAD NOMINAL =',F6.1,/,16X,'TORQUE NOMINAL =',F6.2,/,16X,'TORQUE MPT004170
    *AXIMO =',F6.2,/,16X,'TORQUE DE ARRANQUE =',F6.2,/,16X,'CORRIENTE DPT004180
    *E ARRANQUE =',F6.2,///)
194  FORMAT(1H1,2X,'EL PROGRAMA NO CONSIDERA ESTE TIPO DE CALIBRE',/) PT004200

```

```

200 FORMAT(10X,'DAIOS DE FUNCIONAMIENTO CALCULADOS PARA EL MOTOR',//,'PT00421
* POTENCIA UTIL APROXIMADA DEL NUCLEO (HPU) =',F6.2,/) PTC0422
206 FORMAT(2X,'FACTOR DE RELLENO (FREL) ASUMIDO ES ALTO.',/,2X,'SUGERIR PTC0423
* EN CIA SELECCIONE VALOR MENOR A 0.80.',//) PTC0424
208 FORMAT(7F8.4) PTC0425
210 FORMAT(10X,5CONTABULACION DE VALORES DE DENSIDADES DE FLUJO,7PT00426
*/,3X,8HDENSIDAD,10X,8HDENSIDAD,10X,8HDENSIDAD,13X,6HNUMERO,/,5X,5HPT00427
* FLUJO,13X,5HFLUJO,13X,5HFLUJO,16X,2HDE,/,7X,2FEN,15X,2HEN,17X,2HENPT00428
*,15X,7HVUELTAS,/,4X,7HDIENTES,11X,6HCUKONA,10X,11HENTREHIERRU, PTC0429
*//) PTC0430
211 FORMAT(5X,'C11',5X,'DCC',4X,'REN',6X,'FP',6X,'HP',6X,'C10',3X,'R1'PT00431
*,4X,'K2',4X,'X1',5X,'XMAC',/) PTC0432
212 FORMAT(2X,F10.4,4X,F12.4,6X,F12.4,9X,F10.2,/) PTC0433
213 FORMAT(2X,'ALTERNATIVA NUMERO=',I2,/,2X,'NUMERO DE VUELTAS POR BOBPT00434
*1NA (VUEL) =',F5.1,/,2X,'NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA =',F5.1,//PT00435
*) PTC0436
214 FORMAT(10X,'ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS',//,5X,'PT00437
* CALIBRE',3X,'DIAMETRO',3X,'DIAMETRO',3X,'AREA DEL',3X,'NUMERO',/,6PT00438
*X,'NUMERO',4X,'DESNUDO',3X,'ESMALTADO',4X,'COBRE',6X,'DE',/,18X,'HPT00439
*H',8X,'MM',11X,'2',5X,'HILOS EN',/,40X,'MM',5X,'PARALELO',/) PTC0440
215 FORMAT(6F8.2,3F6.2,F9.2) PTC0441
216 FORMAT(5X,F7.4,4X,F7.4,3X,F7.4,4X,F7.4,6X,F3.1) PTC0442
222 FORMAT(1X,//,23X,'VALORES DE PARAMETROS',//,14X,'R1',7X,'R2',7X,'XPT00443
*1',6X,'X2',7X,'RM',6X,'XM',/) PTC0444
224 FORMAT(2X,'MARCHA',2X,6(F8.3,1X),/) PTC0445
228 FORMAT(16X,'CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO',//,2X,'PUNTOS',56PT00446
*X,'POT',74X,'DE',7X,'DES',3X,'REN',3X,'FP',6X,'IO',7X,'I1',7X,'I2'PT00447
*,3X,'TORQUE',2X,'UTIL',/,2X,'TRABAJO',4X,'(S)',16X,'(AMP)',4X,'(AMPT00448
*P)',4X,'(AMP)',1X,'(KG-MT)',2X,'(HP)',//) PTC0449
230 FORMAT(2X,'NOMINAL',3X,3(F5.3,1X),3(F8.3,1X),2(F6.2,1X),//) PTC0450
232 FORMAT(2X,'MAXIMO',4X,3(F5.3,1X),3(F8.3,1X),2(F6.2,1X),//) PTC0451
234 FORMAT(2X,'ARRANQUE',2X,3(F5.3,1X),3(F8.3,1X),2(F6.2,1X)) PTC0452
235 FORMAT(2X,'ARRANQUE',6(F8.3,1X),/) PTC0453
236 FORMAT(2X,'PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) =',F8.3,/,2X,'PERDIDAS DPT00454
*E HISTERISIS+EDDY EN (VATIOS) =',F8.3,/,2X,'PERDIDAS DE FIERRO ROTPT00455
*ACIONALES EN (VATIOS) =',F8.3,/,2X,'PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN PTC0456
*(VATIOS) =',F8.3,/,2X,'PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOSPT00457
*) =',F8.3,/,2X,'PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) =',F8.3,PT00458
*/,2X,'PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) =',F8.3,//) PTC0459
238 FORMAT(17X,'DIMENSIONES DE LAS BOBINAS EN (CM)',//,21X,'AMPLITPT00460
*UD (EMAX) =',F8.3,/,17X,'LOGINTUD RECTA (LR) =',F8.3,/,21X,'ANCHURPT00461
*A (ANCHO) =',F8.3,/,26X,'ALTURA (H) =',F8.3,//) PTC0462
240 FORMAT(2X,'VALOR DE DENSIDAD DE CORRIENTE CALCULADA NU',/,2X,'CUMPT00463
*PLE REQUERIMIENTOS SUGERENCIA.',/,2X,'1.-ASIGNE A VARIABLE (ALT)PT00464
* EN PROGRAMA DATOS VALOR IGUAL A 1',/,2X,'2.-EJECUTE PROGRAMA',/,2PT00465
*X,'3.-DE TABLA DE RESULTADOS SELECCIONE VALOR CORRECTO',/,8X,'CORPT00466
*RIENTE NOMINAL DEL MOTOR(C11)',/,8X,'DENSIDAD DE CORRIENTE (DCC)',PT00467
*/,2X,'4.-ASIGNE A VARIABLE (DCD) EN PROGRAMA DATOS VALOR IGUAL A PTC0468
*CC',/,2X,'5.-EJECUTE OTRA VEZ PROGRAMA',//) PTC0469
242 FORMAT(2X,'ESPECIFICACIONES DEL DEVANADO A REALIZARSE',//,2X,'TIPOPT00470
* DE DEVANADO',/,4X,'EXCENTRICO-DOS CAPAS-ENTERO-PASO DE BOBINA IGUPT00471
*AL',/,2X,'CONEXION DE LAS FASES (C=DELTA I=ESTRELLA) =',F4.1,/,2X,PT00472
*NUMERO DE TRAYECTORIAS EN PARALELO =',F4.1,/,2X,'NUMERO DE POLOS PTC0473
* =',F4.1,/,2X,'PASO DE BOBINA = 1-'F4.1,/,2X,'CLASE DE AISLAMIENTO PTC0474
* (0=TIPO A 1=TIPO B) =',F4.1,/,2X,'NUMERO DE RANURAS/POLO/FASE =',PT00475
*F4.1,/,2X,'NUMERO TOTAL DE GRUPOS =',F4.1,/,2X,'CONEXION DE GRUPOSPT00476
*/POLO/FASE (0=REALES 1=CONSECUTENTES) =',F4.1,/,2X,'DESPLAZAMIENTO PTC0477
*ELECTRICO ENTRE FASES =',F4.1,' RANURAS',//) PTC0478
STOP PTC0479
END PTC0480

```

```

C *** SUBROUTINA PARA EFECTUAR SELECCION DE CONSTANTE DE FASE ***
SUBROUTINE SFASE(YBOB,YP,CP,CZF)
YU=YBOB/YP
IF(CP)2,2,8
2 IF(YU-0.67)3,3,4
3 CZF=0.25*(6*YU-1.)
GO TO 14
4 IF(YU-1.15)5,5,6
5 CZF=0.25*(3*YU+1.)
GO TO 14
6 IF(YU-1.33)7,7,12
7 CZF=0.25*(7-3*YU)
GO TO 14
8 IF(YU-1.33)9,9,10
9 CZF=C.75
GO TO 14
10 IF(YU-2.0)11,11,12
11 CZF=0.375*YU+0.25
GO TO 14
12 WRITE (3,13)
13 FORMAT(3X,'PASO DE BOBINA (YBOB) HA SIDO MAL SELECCIONADO')
14 RETURN
END

```

```

PT004810
PT004820
PT004830
PT004840
PT004850
PT004860
PT004870
PT004880
PT004890
PT004900
PT004910
PT004920
PT004930
PT004940
PT004950
PT004960
PT004970
PT004980
PT004990
PT005000
PT005010
PT005020
PT005030

```

C	PROGRAMA DEL DIAGRAMA DE CIRCULO	PTC00010
C	***** MARCE TORO GALVEZ *****	PTC00020
	REAL M	PTC00030
	DIMENSION K29(101),VAY(10)	PTC00040
	DATA K30,K31,K32/' ',' ',' '	PTC00050
C	*** VALORES DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO ***	PTC00060
	READ(1,2)VGV,COV,POV,CV1,PV1,VIR,CTR,PTR,M,CCNE,PFV,PFR,R125,EPX2,	PTC00070
	*CTP,PTP	PTC00080
C	*** CALCULO DE PARAMETROS SATURADOS ***	PTC00090
	IF(PTP)6,6,8	PTC00100
6	PTP=PTR*(VOV/VTR)**2.	PTC00110
8	IF(CTP)16,16,18	PTC00120
16	CTP=CTR*(VOV/VTR)	PTC00130
18	IF(CONE)80,80,81	PTC00140
80	CV11=CV1/1.732	PTC00150
	CCV1=COV/1.732	PTC00160
	CTR1=CTR/1.732	PTC00170
	CTP1=CTP/1.732	PTC00180
	VGV1=VOV	PTC00190
	VTR1=VTR	PTC00200
	GO TO 82	PTC00210
81	VCV1=VGV/1.732	PTC00220
	VTR1=VTR/1.732	PTC00230
	CV11=CV1	PTC00240
	CCV1=COV	PTC00250
	CTR1=CTR	PTC00260
	CTP1=CTP	PTC00270
82	R175=R125*309.5/259.5	PTC00280
C	*** EVALUACION DE PARAMETROS SATURADOS ***	PTC00290
	P=PTP/(M*CTP1**2.)-R125	PTC00300
	Q=SQRT((VOV1/CTP1)**2.- (PTP/(M*CTP1**2.))**2.)	PTC00310
	ZQ=VGV1/COV1	PTC00320
	RO=POV/(M*COV1**2.)	PTC00330
	XC=SQRT((ZQ**2.)-(RO**2.))	PTC00340
	X1S=(C-(P**2./(XC-Q)))/2.	PTC00350
	X2S=X1S	PTC00360
	R2S=P*XC/(XC-Q)	PTC00370
C	*** CALCULO DE PARAMETROS NO SATURADOS ***	PTC00380
	P=PTR/(M*CTR1**2.)-R175	PTC00390
	Q=SQRT((VTR1/CTR1)**2.- (PTR/(M*CTR1**2.))**2.)	PTC00400
	X1NS=(C-(P**2./(XC-Q)))/2.	PTC00410
	X2NS=X1NS/EPX2	PTC00420
	R2NS=P*XC/(XC-Q)	PTC00430
	SFM=X1NS/X1S	PTC00440
	EFR2=R2S/R2NS	PTC00450
C	*** PARAMETROS DEL FLUJO PRINCIPAL ***	PTC00460
	IF(PV1)24,24,26	PTC00470
24	PHEDY=POV-(M*COV1**2.*R175)-PFV-PFR	PTC00480
	PV1=PCV	PTC00490
	CV11=COV1	PTC00500
	GO TO 28	PTC00510
26	PHEDY=PVI-(M*CV11**2.*R175)	PTC00520
28	RM=PHEDY/(M*CV11**2.)	PTC00530
	XM=XD-X1NS	PTC00540
C	*** CALCULO DE ANGULO DE VACIO Y CORTO CIRCUITO ***	PTC00550
	PIO=ATAN(((M*VGV1*CV11)**2.-PV1**2)**0.5/PV1)	PTC00560
	PIL=ATAN(((M*VTR1*CTR1)**2.-PTR**2)**0.5/PTR)	PTC00570
	PIOG=PIO*57.3	PTC00580
	PILG=PIL*57.3	PTC00590
	WRITE(6,32)	PTC00600

3.6.2. Generalidades

El programa es escrito en lenguaje Fortran, grabado en librería común del Sistema 43/41 con el Nombre TOR2; conteniendo el programa principal "PTOR2" y el archivo de datos "D-TOR2"

3.6.3. Procedimiento

El programa "PTOR2", lee los datos de entrada por medio del archivo de datos "D(TOR2)". Estos datos de entrada corresponden a los valores de las pruebas siguientes:

Prueba de vacío Ideal, Normal, rotor bloqueado a tensión reducida y a tensión plena.

Para los propósitos de cálculo de parámetros y trazado del diagrama de circuito, no necesariamente requiere de las cuatro pruebas mencionadas, ya que primeramente verifica que si prueba de rotor bloqueado a tensión plena ha sido efectuada; en caso negativo procede al cálculo de los parámetros en base de tensión reducida.

De manera idéntica a lo anterior, verificarse si prueba de vacío ideal no ha sido realizado; en caso negativo, sus valores son asumidos a ser iguales a prueba de va ci o Normal.

En la evaluación de los parámetros satura dos y no saturados, hace uso del procedimiento del código de pruebas Americanas, en la que se considera el efecto de la reactancia magnetizante. La resistencia del Estator (R_1) para condiciones de funcionamiento Nominales se considera a 75°, en cambio para condiciones de arranque a 25°C.

Finalmente en base de los parámetros no saturados, ángulos de cortocircuito y va ci o se procede a graficar diagrama de circulo.

La forma en que se imprimen los resultados son:

- 1.- Datos de Prueba de vacío Normal e Ideal
- 2.- Datos de Prueba de rotor bloqueado a tensión reducida y plena tensión.

3.- valores de los parámetros en condiciones nominales y en arranque.

4.- Angulos de vacio y cortocircuito.

5.- Gráfico del diagrama de círculo.

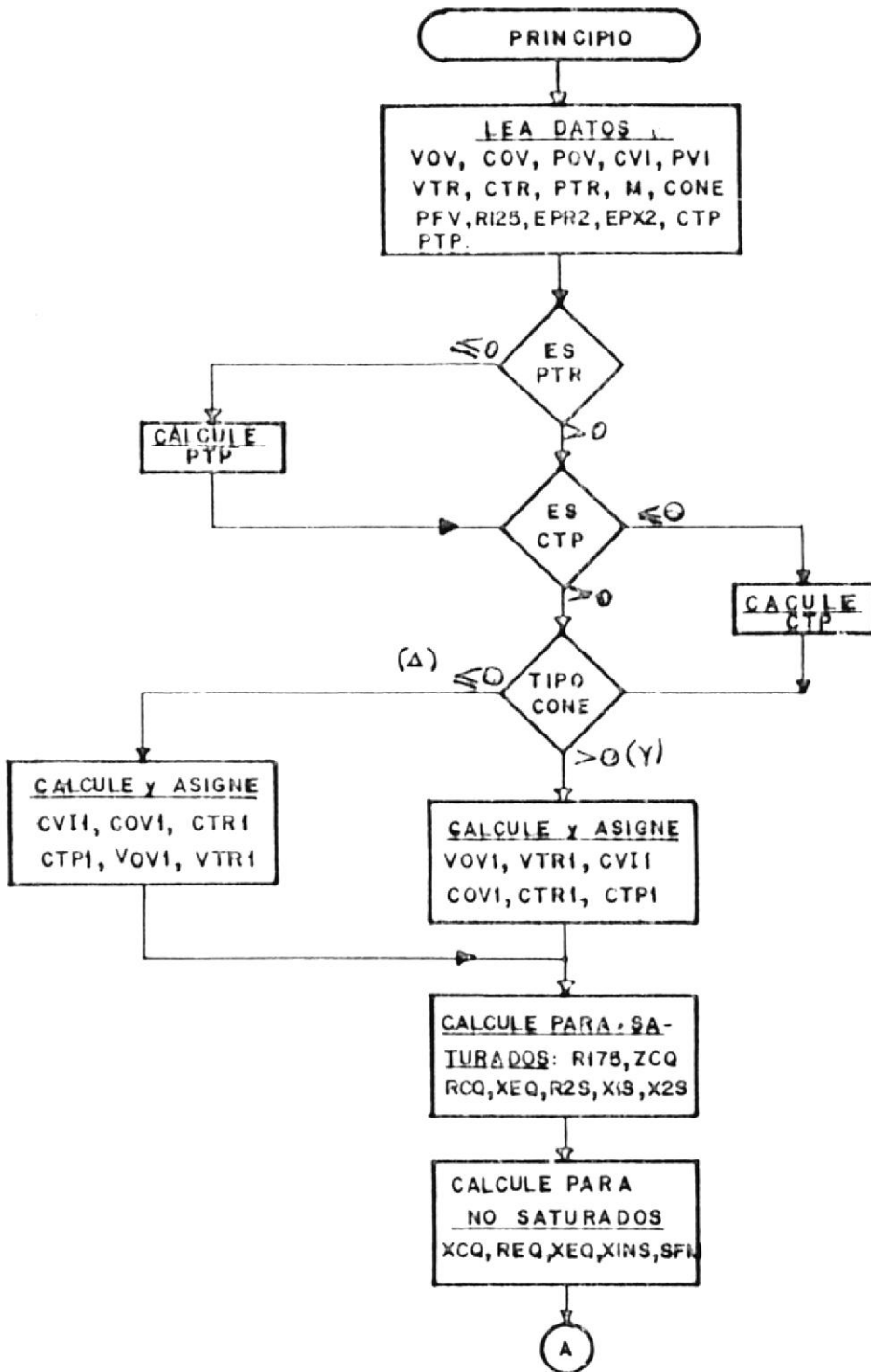
3.7. ARCHIVO DE DATOS "D10R2"

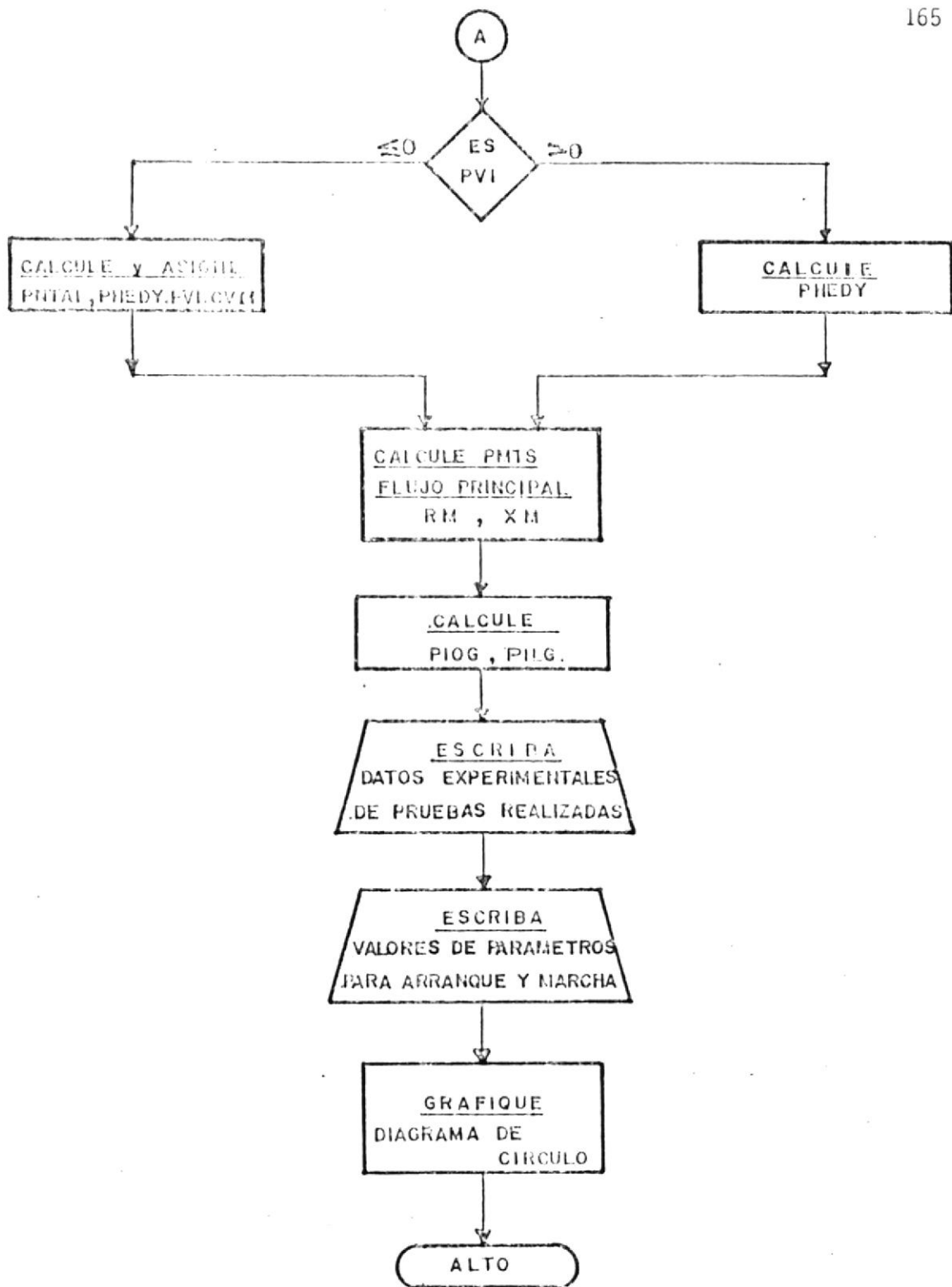
Este archivo contiene el listado de las variables donde se especifican los valores de las pruebas - de vacio y rotor bloqueado a que fue sometido el motor rediseñado. El Anexo C estan representadas el listado de las variables, su significado tipo de variable y formato.

3.8. DIAGRAMA DE FLUJO.

El diagrama de flujo del programa "T0K2" es presentado en páginas siguientes. Adicionalmente el listado del programa "PT0K2".

PROGRAMA DE CONSTRUCCION DIAGRAMA
DE CIRCULO. (TOR2)





WRITE(6,34)VCV,VCV,CCV,CVI,POV,PVI	PT000610
WRITE(6,36)VIR,VOV,CTR,CIP,PTR,PIP	PT000620
C *** VALORES DE LOS PARAMETROS ***	PT000630
WRITE(6,38)R125,R175,R2S,R2NS,X1S,X1NS,X2S,X2NS,RM,RM,XM,XM	PT000640
WRITE(6,42)PILG,PILG	PT000650
R2=R2NS	PT000660
R1=R175	PT000670
X2=X2NS	PT000680
C *** CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA DE CIRCULO ***	PT000690
C *** UBICACION DE PUNTOS DE VACIO IDEAL I CERTOCIRCUITO ***	PT000700
X1=CV11*SIN(PIC)	PT000710
Y1=CV11*CCS(PIC)	PT000720
Y2=CTP1*CCS(PIL)	PT000730
X2=CTP1*SIN(PIL)	PT000740
PEND=(Y2-Y1)/(X2-X1)	PT000750
XM=(X1+X2)/2.	PT000760
YP=(Y1+Y2)/2.	PT000770
B2=YM+XM/PEND	PT000780
X3=(B2-Y1)*PEND	PT000790
RADIO=X3-X1	PT000800
XMAX=X1+2.*RADIO	PT000810
YMAX=Y1+RADIO	PT000820
DELTY=YMAX/100.	PT000830
DELTX=DELTY/0.8	PT000840
C *** VALORES DE ABCISAS, ORDENADAS Y PENDIENTES ***	PT000850
B3=Y1-PEND*X1	PT000860
N1=X1/DELTX+0.5	PT000870
X=0.	PT000880
C *** TABULE VALORES DE COORDENADAS VERTICALES ***	PT000890
DO 22 J=1,10	PT000900
VAY(J)=10.*FLCAT(J)*DELTY	PT000910
22 CCNTINUE	PT000920
WRITE(6,13)VAY	PT000930
C *** IMPRIMA EJE VERTICAL ***	PT000940
DO 20 J=1,101	PT000950
K29(J)=K31	PT000960
20 CCNTINUE	PT000970
WRITE(6,14)K29	PT000980
DO 30 J=2,101	PT000990
K29(J)=K32	PT001000
30 CCNTINUE	PT001010
C *** TABULE VALORES DE COORDENADAS HORIZONTALES ***	PT001020
DO 1 J=2,N1	PT001030
X=X*DELTX	PT001040
C *** GRAFIQUE VECTOR CORRIENTE DE VACIO ***	PT001050
N11=X*Y1/(X1*DELTY)+1.5	PT001060
N12=X*Y2/(X2*DELTY)+1.5	PT001070
K29(N11)=K30	PT001080
K29(N12)=K30	PT001090
K29(1)=K31	PT001100
WRITE(6,15)X,K29	PT001110
K29(N11)=K32	PT001120
K29(N12)=K32	PT001130
1 CCNTINUE	PT001140
X7=X2+R2	PT001150
X9=X7+R1	PT001160
Y9=Y2	PT001170
PEND1=Y2/(X9-X2)	PT001180
B7=Y2-PEND1*X7	PT001190
Y7=PEND1*X2+B7	PT001200

	B9=Y9-PEND1*X9	PT001210
	PEND2=(Y7-Y1)/(X2-X1)	PT001220
	B8=Y7-PEND2*X2	PT001230
	N2=X2/DELTX*0.5	PT001240
	N2=N2-1	PT001250
	DO 3 J=N1,N2	PT001260
	X=X+DELTX	PT001270
C ***	GRAFIQUE VECTOR CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ***	PT001280
	N12=X*Y2/(X2*DELTY)+1.5	PT001290
C ***	GRAFIQUE LINEA DEL DIAMETRO DE CIRCULO ***	PT001300
	N13=Y1/DELTY+1.5	PT001310
C ***	GRAFIQUE LINEA DE POTENCIA DE SALIDA ***	PT001320
	N14=(PEND*X+B3)/DELTY+1.5	PT001330
	RADIC1=RADIC**2.	PT001340
	RESTA1=ABS(X3-X)	PT001350
	X3X2A=RESTA1**2.	PT001360
	EVAL1=ABS(RADIC1-X3X2A)	PT001370
C ***	GRAFIQUE SEMICIRCULO DEL LUGAR GEOMETRICO DE LA CORRIENTE PRIMARIA	PT001380
	N15=(Y1+SCRT(EVAL1))/DELTY+1.5	PT001390
C ***	GRAFIQUE LINEA DEL TORQUE ***	PT001400
	N16=(X*PEND2+B8)/DELTY+1.5	PT001410
	K29(N12)=K30	PT001420
	K29(N13)=K30	PT001430
	K29(N14)=K30	PT001440
	K29(N15)=K30	PT001450
	K29(N16)=K30	PT001460
	WRITE(6,15)X,K29	PT001470
	K29(N12)=K32	PT001480
	K29(N13)=K32	PT001490
	K29(N14)=K32	PT001500
	K29(N15)=K32	PT001510
	K29(N16)=K32	PT001520
3	CONTINUE	PT001530
	X=X+DELTX	PT001540
	K=Y2/DELTY+1.5	PT001550
C ***	LINEA TRAZADA DESDE PUNTO S=1 E INTERSECCION CON DIAMETRO ***	PT001560
	DO 40 L=1,K	PT001570
	K29(L)=K30	PT001580
40	CONTINUE	PT001590
	WRITE(6,15)X,K29	PT001600
	DO 45 L=1,K	PT001610
	K29(L)=K32	PT001620
45	CONTINUE	PT001630
	K29(L)=K31	PT001640
	N2=N2+2	PT001650
	N3=X9/DELTX+0.5	PT001660
	N4=XMAX/DELTX*0.5	PT001670
	DO 76 L=N2,N3	PT001680
	X=X+DELTX	PT001690
	IF(X-X7)55,55,56	PT001700
C ***	GRAFIQUE LINEA TRAZADA PROPORCIONAL A RESISTENCIA DEL ROTOR ***	PT001710
55	N17=(X*PEND1+B7)/DELTY+1.5	PT001720
	K29(N17)=K30	PT001730
C ***	GRAFIQUE LINEA TRAZADA PROPORCIONAL A REISTENCIA DEL ESTATOR ***	PT001740
56	N18=(X*PEND1+B9)/DELTY+1.5	PT001750
	N13=Y1/DELTY+1.5	PT001760
C ***	GRAFIQUE LINEA TANGENTE AL CIRCULO DESDE PUNTO S=1 ****	PT001770
	N20=Y2/DELTY+1.5	PT001780
	RADIC2=RADIC**2.	PT001790
	RESTA2=ABS(X3-X)	PT001800

```

X3X20=K32A2**2.
EVAL2=ABS(RAD10.2-x3x20)
C *** GRAFICJE SEMICIRCULO DEL LUGAR GEOMETRICO DE LA CORRIENTE PRIMARIA
N15=(Y1+SQRT(EVAL2))/DELT Y*1.5
K29(N18)=K30
K29(N13)=K30
K29(N20)=K30
K29(N15)=K30
WRITE(6,15)X,K29
K29(N20)=K32
K29(N18)=K32
K29(N13)=K32
K29(N15)=K32
K29(N17)=K32
76 CONTINUE
N3=N3+1
DO 75 L=N3,N4
X=X+DELT X
RAD101=RAD10**2.
X3X1=ABS(X3-X)
X3X2=X3X1**2.
EVAL=ABS(RAD101-X3X2)
N15=(Y1+SQRT(EVAL))/DELT Y*1.5
N13=Y1/DELT Y*1.5
N20=Y2/DELT Y*1.5
K29(N15)=K30
K29(N20)=K30
K29(N13)=K30
WRITE(6,15)X,K29
K29(N15)=K32
K29(N13)=K32
K29(N20)=K32
75 CONTINUE
FORMAT(8F6.3,/,7F6.3,F8.2)
32 FORMAT(1H1,2X,//////,33X,17HPRUEBA DE VACIO,/,22X,6HNORMAL,37X,PT001810
*SHIDEAL,/) PT001820
34 FORMAT(15X,15HVOLTAGE (VDV)=,F8.3,18X,15HVOLTAGE (VVI)=,F8.3,/,1PT001830
*5X,15HCORRIENTE(CUV)=,F8.3,18X,15HCORRIENTE(CVI)=,F8.3,/,15X,15HPT001840
*TENCIA (POV)=,F8.3,18X,15HPOTENCIA (PVI)=,F8.3,////) PT001850
36 FORMAT(28X,'PRUEBA A ROTOR BLOCQUEADO',/,18X,'TENSION REDUCIDA',PT001860
*28X,'TENSION PLENA',/,15X,'VOLTAGE (VTR)=',F8.3,18X,'VOLTAGE (VPT001870
*P)=',F8.3,/,15X,'CORRIENTE(CTR)=',F8.3,18X,'CORRIENTE(CTP)=',F8.3,PT001880
*/,15X,'POTENCIA (PTR)=',F8.3,18X,'POTENCIA (PTP)=',F10.2,////) PT001890
38 FORMAT(28X,28HVALORES DE LOS PARAMETROS,/,17X,'ARRANQUE',35X,PT001900
*HARCHA',/,15X,'R1=',F8.3,32X,'R1=',F8.3,/,15X,'R2=',F8.3,32X,'R2=PT001910
*,F8.3,/,15X,'X1=',F8.3,32X,'X1=',F8.3,/,15X,'X2=',F8.3,32X,'X2=PT001920
*8.3,/,15X,'RM=',F8.3,32X,'RM=',F8.3,/,15X,'XM=',F8.3,32X,'XM=PT001930
*3,////) PT001940
42 FORMAT(31X,'ANGULO DE VACIO (PIOG)=',F8.3,/,24X,'ANGULO DE CORPT001950
*TCIRCUITO (PIIG)=',F8.3,////) PT001960
13 FORMAT(1H1,/,20X,10E10.2) PT001970
14 FORMAT(19X,10I1) PT001980
15 FORMAT(F10.5,4X,10I1) PT001990
STOP PT002000
END PT002010
PT002020
PT002030
PT002040
PT002050
PT002060
PT002070
PT002080
PT002090
PT002100
PT002110
PT002120
PT002130
PT002140
PT002150
PT002160
PT002170
PT002180
PT002190
PT002200
PT002210
PT002220
PT002230
PT002240
PT002250
PT002260
PT002270
PT002280
PT002290
PT002300
PT002310
PT002320
PT002330
PT002340
PT002350

```

C A P I T U L O I V

REDISEÑO DE UN MOTOR DE 3HP Y TRAZADO DE SU DIAGRAMA DE CIRCULO

El presente capítulo se procede a realizar la aplicación práctica de los programas "TOR1" y "TOR2" descritos en el capítulo III, para el rediseño de un motor de 3HP.

Las características y parámetros teóricos del rediseño serán verificadas por las pruebas experimentales a ser sometido el motor rediseñado en un banco de pruebas o mediante el gráfico del Diagrama de círculo.

En el presente trabajo se utiliza los dos procedimientos anteriores.

4.1. APLICACION DE PROGRAMA TOR1

Con objeto de verificar la técnica empleada en programa "TOR1", se procede al rediseño del núcleo del estator de un motor jaula de ardilla, con siguientes características principales.

4.1.1. Características de operación

Potencia útil = 3 HP

Voltaje de alimentación = 220/440

Corriente nominal = 8.4/4.20

Rendimiento = 78%

Factor de potencia = 0.80

Torque máximo (T_{max}) = 3.00 kg.m.

Torque de arranque (T_{arr}) = 2.58 Kg.m.

Torque nominal (T_{ND}) = 1.20 kg.m.

Número de fases (M) = 3.

Revoluciones por minuto (RPM) = 1740

Frecuencia (F) = 60 Hz.

Número de polos = 4

Clase de Aislamiento (AISL) = "B"

Corriente de arranque (I_{ARR}) = 60 amperios.

4.1.2. Características del devanado

Conexión eléctrica entre fases (cone) = estrella.

Conexión grupo - polo - fase (C_{polar}) = reales.

Número de circuitos en paralelo (A) = 2

Paso de bobina (Y_{bob}) = 1-8.

4.1.3. Dimensiones circuito magnético estator

Número de ranuras (NRAN1) = 36
 Forma de ranura (FRAN1) = trapezoidal
 Número canales transversales = (NCAT) = 0
 Diámetro canales transversales- (DCAT)=0
 Altura de la corona (HG) = 1,464 (cm).
 Diámetro canales longitudinales (DCL) = 0.
 Radio de semicírculo ranura (R13) = 0.0
 Longitud axial de CHAPAS(LF) = 7,05 (cm).
 Diámetro interior estator (D1) = 11,42 (cm).

DIMENSIONES DE RANURA:

$w_{10} = 0.06$ (cm)
 $D_{11} = 0.08$ (cm)
 $D_{14} = 1.86$ (cm)
 $w_{10} = 0.30$ (cm)
 $w_{11} = 0.56$ (cm)
 $w_{13} = 0.836$ (cm)
 $D_{15} = 2.00$ (cm)
 $w_D = 0.50$ (cm)

4.1.4. Dimensiones circuito magnético rotor

Número ranuras (NRAN2) = 48
 Forma ranura rotor (FRAN2) = 1.40

Longitud de la barra (LB) = 7.05 (cm)
 Longitud sesgada barra (SK) = 0.80 (cm)
 Tipo material barra y anillo (TMB) = Aluminio
 Diámetro centro barras (DC)=11.30 (cm)
 Diámetro interior anillos (DI)=10,00 (cm)
 Sección barra del rotor (SB) = 19,6 (mm²)
 Sección del anillo (SA) = 225 (mm²)

DIMENSIONES DE RANURA:

D20 = desconocida
 D21 = desconocida
 D24 = desconocida
 W20 = 0.076 (cm)
 W21 = desconocida
 W23 = desconocida

4.1.5. Constantes de curvas y tablas

Factor de saturación (SFM) = 1.28
 Factor ranura estator (E1) = 0.475
 Factor zona (FZONA) = 1.12
 Factor resistencia rotor (FR2) = 0.59
 Factor pérdidas por ventilación = 20 (vatios)
 Factor pérdidas núcleo (FPN) = 250(vatios)
 Factor pérdidas dispersas (FpD) = 20 (vatics)

Espacio aislante anchura (IW) = 0.19(cm)
Espacio profundidad aislante (ID) = 0.635 cm.
Factor aislamiento láminas estator (K)=0.93
Factor efecto pelicular resistencia rotor -
(EPR2)= 1.07.
Factor efecto pelicular reactancia rotor -
(EPX2) = 1,00.
Densidad de corriente asumida (DCD)=6.0.Amp/
mm².
Factor efecto de corriente alterna (FCA)=1.20
Factor de parámetros para el arranque (FPA)=
0.0.
Factor de pérdidas rotacionales totales (FPR)=
80 (vatios).
Factor de corrección de reactancias (Fcx)=
1.15.
Densidad de flujo en dientes (DBD) =
14.000 (Gauss).

Los datos anteriores son almacenados en un programa de archivo de datos denominado - "DTOR1".

Los datos correspondientes a características del alambre redondo de cobre y de la curva de

pérdidas magnéticas están almacenadas en programa de archivo de datos denominado "DTABLA".

Con lo anterior se procede a ejecutar el programa, para esto, siga las instrucciones especificadas en el Manual del Usuario del programa "TOR1", en el Anexo D.

Para nuestro objeto, los resultados son mostrados en el programa Rediseño 1.

El programa Rediseño 1, se selecciona cualquiera de las alternativas.

4.2. CALCULO EXPERIMENTAL DE PARAMETROS Y PERDIDAS DEL MOTOR REDISEÑADO

En base a la alternativa seleccionada, se procede a realizar el devanado del motor. El motor rebobinado debe ser llevado a un Banco de Pruebas con el objeto de verificar las características teóricas del rediseño.

Para nuestro propósito, se utiliza el laboratorio de Maquinaria Eléctrica de la ESPOL. En la ejecución práctica de las pruebas, se seguirá los procedimientos descritos en la sección.2.9.

ARCHIVO DE DATOS "DTABLA"

10.	2.589	2.639	5.261	0.0440	4649.72	ICCC0791
11.	2.305	2.355	4.172	0.66136199	62	ICCC0792
12.	2.053	2.101	3.309	0.0772	6974.58	ICCC0801
13.	1.828	1.877	2.624	0.0882	7439.55	ICCC0802
14.	1.628	1.676	2.081	0.1102	8524.48	ICCC0803
15.	1.450	1.496	1.650	0.1322	9609.42	ICCC0804
16.	1.291	1.334	1.309	0.154310074	4	ICCC0805
17.	1.150	1.191	1.033	0.176311159	3	ICCC0806
18.	1.024	1.062	0.823	0.198411779	4	ICCC0807
19.	0.91160	0.950	0.65290	0.222412359	25	ICCC0808
20.	0.81160	0.848	0.51760	0.242513174	2	ICCC0809
21.	0.72290	0.759	0.41050	0.264513639	18	ICCC0810
22.	0.64380	0.67560	0.32550	0.286614259		ICCC0811
23.	0.57330	0.60710	0.25610	0.308614724		ICCC0812
24.	0.51050	0.54100	0.20470	0.330715189		ICCC0813
25.	0.45470	0.48290	0.16240	0.352715809		ICCC0814
26.	0.40490	0.43180	0.12880	0.374716351		ICCC0815
27.	0.36060	0.38610	0.10210	0.395316738		ICCC0816
28.	0.32110	0.34540	0.08050	0.418817358		ICCC0817
29.	0.28600	0.31000	0.06420	0.440917824		ICCC0818
30.	0.25470	0.27690	0.05050	0.463018288		

REDISEÑO 1

1 DATOS DE FUNCIONAMIENTO ASUMIDOS PARA EL MOTOR

POTENCIA UTIL = 3.0
 VOLTAGE = 220.0/ 440.0
 CORRIENTE = 9.4 / 4.7
 EFICIENCIA A PLENA CARGA = 0.78
 FACTOR DE POTENCIA A PLENA CARGA = 0.80
 VELOCIDAD NOMINAL = 1740.0
 TORQUE NOMINAL = 1.20
 TORQUE MAXIMO = 3.00
 TORQUE DE ARRANQUE = 2.58
 CORRIENTE DE ARRANQUE = 60.00

DATOS DE FUNCIONAMIENTO CALCULADOS PARA EL MOTOR

POTENCIA UTIL APROXIMADA DEL NUCLEO (HPL) = 3.82

TABULACION DE VALORES DE DENSIDADES DE FLUJO

DENSIDAD FLUJO EN DIENTES	DENSIDAD FLUJO EN CORONA	DENSIDAD FLUJO EN ENTREHIERRA	NUMERO DE VUELTAS
14000.0000	13697.7305	6532.3047	32.00
14500.0000	14186.9375	6765.2016	31.00
15000.0000	14676.1445	6998.0984	30.00
15500.0000	15165.3477	7232.1953	29.00
16000.0000	15654.5508	7465.4883	28.00
16500.0000	16143.7578	7698.7891	27.00
17000.0000	16632.9648	7932.0859	26.00
17500.0000	17122.1680	8165.3789	26.00
18000.0000	17611.3594	8398.6641	25.00

ALTERNATIVA NUMERO= 1
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 27.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 54.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESNUCO MM	DIAMETRO ESMALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILCS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCHA	1.028	0.514	0.872	0.872	2.176	21.006

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTO DE TRABAJO	DES (S)	REN	FP	IG (AMP)	I1 (AMP)	I2 (AMP)	TORQUE (KG-MT)	PCT UTIL (HP)
NOMINAL	0.033	0.764	0.811	5.806	9.795	7.365	1.29	3.10
MAXIMO	0.254	0.458	0.348	5.806	37.155	35.222	3.99	7.38
ARRANQUE	1.000	0.000	0.675	5.806	55.099	52.778	2.49	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	1.028	0.550	0.872	0.872	2.176	21.006

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 2.955
 PERDIDAS DE HISTERISIS+EDDY EN (VATIOS) = 220.000
 PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES EN (VATIOS) = 80.000
 PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (VATIOS) = 15.000
 PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOS) = 20.000
 PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) = 295.727
 PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) = 83.723

ALTERNATIVA NUMERO= 2
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 27.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 54.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESNUDO MM	DIAMETRO ESMALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILOS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCHA	1.028	0.514	0.872	0.872	2.176	21.006

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTOS DE TRABAJO	DES (S)	REN	FP	I0 (AMP)	I1 (AMP)	I2 (AMP)	TORQUE (KG-MT)	POT UTIL (HP)
NOMINAL	0.033	0.764	0.811	5.806	9.795	7.365	1.29	3.10
MAXIMO	0.254	0.458	0.848	5.806	37.155	35.222	3.99	7.38
ARRANQUE	1.000	0.000	0.675	5.806	55.099	52.778	2.49	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	1.028	0.550	0.872	0.872	2.176	21.006

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 2.995
 PERDIDAS DE HISTERISIS+EDLY EN (VATIOS) = 220.000
 PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES EN (VATIOS) = 80.000
 PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (VATIOS) = 15.000
 PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOS) = 20.000
 PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) = 295.727
 PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) = 83.723

ALTERNATIVA NUMERO= 3
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 27.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 54.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESNUDO MM	DIAMETRO ESMALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILCS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCHA	1.028	0.514	0.872	0.872	2.176	21.006

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTOS DE TRABAJO	DES (S)	REN	FP	I0 (AMP)	I1 (AMP)	I2 (AMP)	TORQUE (KG-MT)	POT UTIL (HP)
NOMINAL	0.033	0.764	0.811	5.806	9.795	7.365	1.29	3.10

MAXIMO	0.254	0.458	0.848	5.806	37.155	35.222	3.99	7.38
ARRANQUE	1.000	0.000	0.675	5.806	55.099	52.778	2.49	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	1.028	0.550	0.872	0.872	2.176	21.006

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 2.995
 PERDIDAS DE HISTERISIS+EDDY EN (VATIOS) = 220.000
 PERDIDAS DE FIERRO RECTANGONALES EN (VATIOS) = 80.000
 PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (VATIOS) = 15.000
 PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOS) = 20.000
 PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) = 295.727
 PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) = 83.723

ESPECIFICACIONES DEL DEVANADO A REALIZARSE

TIPO DE DEVANADO

EXCENTRICO-DOS CAPAS-ENTERO-PASO DE BOBINA IGUAL
 CONEXION DE LAS FASES (0=DELTA 1=ESTRELLA) = 1.0
 NUMERO DE TRAYECTORIAS EN PARALELO = 2.0
 NUMERO DE PULSOS = 4.0
 PASO DE BOBINA = 1- 6.0
 CLASE DE AISLAMIENTO (0=TIPO A 1=TIPO B) = 1.0
 NUMERO DE RANURAS/PULO/FASE = 3.0
 NUMERO TOTAL DE GRUPOS = 12.0
 CONEXION DE GRUPOS/PULO/FASE (0=REALES 1=CONSECUTENTES) = 0.0
 DESPLAZAMIENTO ELECTRICO ENTRE FASES = 6.0 RANURAS

DIMENSIONES DE LAS BOBINAS EN (CM)

AMPLITUD (EMAX) = 5.068
 LONGITUD RECTA (LR) = 12.050
 ANCHURA (ANCHU) = 7.885
 ALTURA (H) = 2.170

4.2.1. Resistencia del devanado del estator

$$R_1(25^\circ) = 0.96$$

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

4.2.2. Prueba de vacío ideal

$$I_o' = 5.20 \text{ amperios}$$

$$V_o' = 220 \text{ voltios}$$

$$P_o' = 300 \text{ vatios}$$

$$P_{h+E} = 206.7 \text{ vatios}$$

$$R_m = 2.548 \text{ ohmios}$$

4.2.3. Prueba de tensión reducida

a. Parámetros no saturados:

$$I_{TR} = 8,40 \text{ amperios}$$

$$V_{TR} = 44 \text{ voltios}$$

$$P_{TR} = 360 \text{ vatios}$$

$$X_{1NS} = 1,243 \text{ ohmios}$$

$$X_{2NS} = 1,243 \text{ ohmios}$$

$$X_M = 21,547 \text{ ohmios}$$

b. Parámetros saturados:

Para objeto de cálculo de parámetros saturados, se sigue el procedimiento -

especificado en la sección 2.9.4., ob
teniéndose los resultados en la tabla
Nº 4.1.

TABLA Nº 4.1.

DATOS DE PRUEBA A TENSION REDUCIDA

PUNTO	(I_{cc}) CORRIENTE DEL ESTATOR. (AMP.)	(P_{cc}) POTENCIA DE ENTRADA (VATIOS)	(V_{cc}) VOLTAJE LINEA - LINEA. (VATIOS)	P_{cc}/V_{cc}	$R_1(25^\circ)$
1	9.70	465	50	9.30	0.964
2	8.75	380	45.5	7.91	0.967
3	7.73	300	41,5	7,22	0,965
4	6.83	232	37,5	6.20	0.965
5	5.81	172	33.0	5.15	0.964
6	4.83	120	28.5	4.21	0.954
7	3.96	80	24.3	3.29	0.95
8	1.93	12.50	14.70	0.85	0.95

Con los datos de I_{cc} y V_{cc} , se procede a graficar la curva I_{cc} Vs. V_{cc} , a fin de obtener la curva de la figura Nº 4.1. La intersección de la recta con el eje de las ordenadas, da el valor de la corriente del rotor bloqueado a plena tensión, cuyo valor es:

CARACTERÍSTICA DEL ROTOR BLOQUEADO (Experimental)

I_{cc} vs V_{cc}

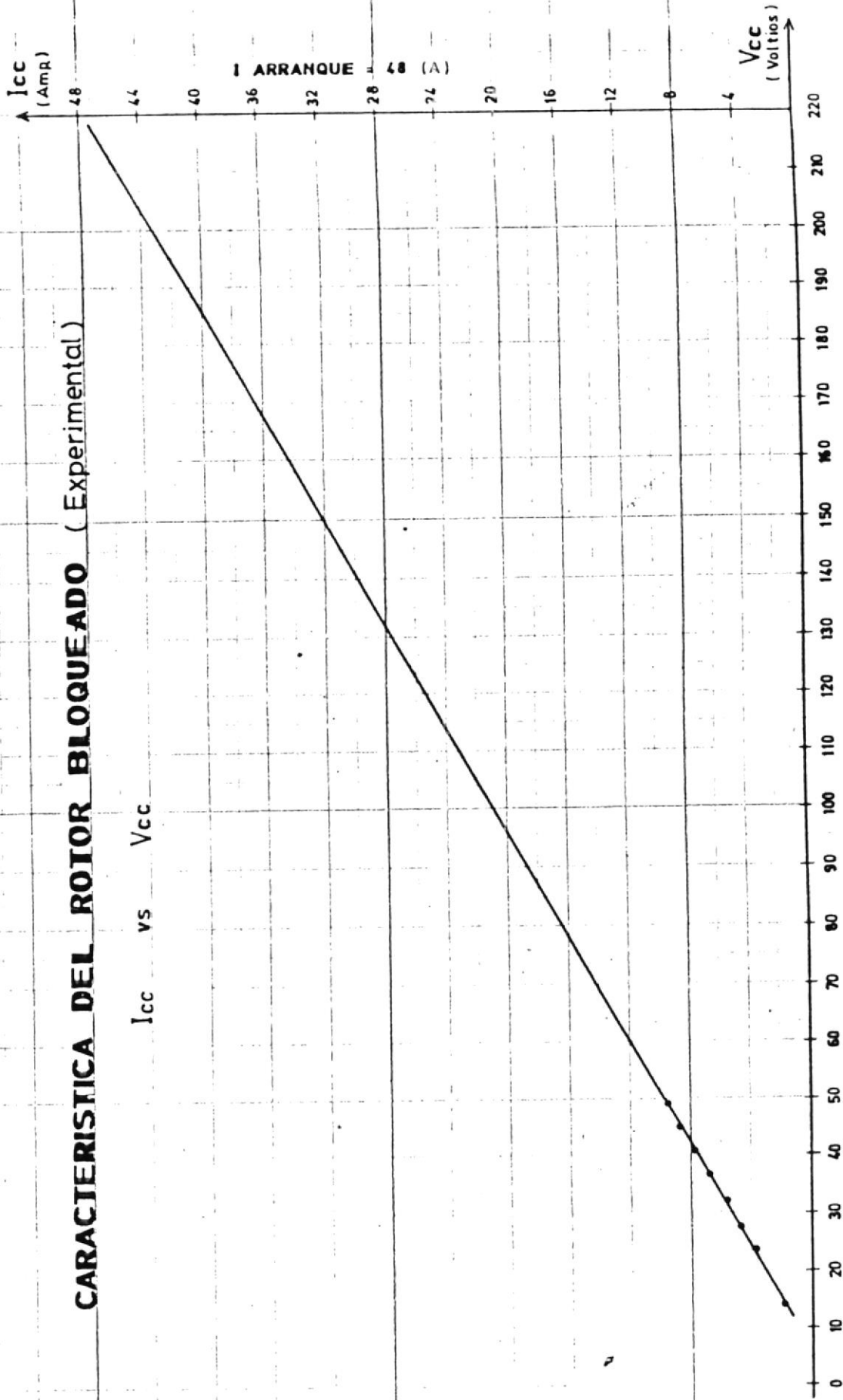


Fig. 4.1

$$V_{CC} = 220 \text{ voltios} \quad I_{CC} = 48 \text{ amperios.}$$

De forma idéntica, se procede a graficar P_{CC}/V_{CC} Vs. V_{CC} y se obtiene la curva de la figura N° 4.2. La intersección de la recta con el eje de las ordenadas, da la potencia del rotor bloqueado a tensión plena, cuyo valor es:

$$V_{CC} = 220 \text{ voltios} , P_{CC}/V_{CC} = 48 , P_{CC} = 10566 \text{ vatios.}$$

Los parámetros saturados son:

$$X_{1S} = 1.072$$

$$X_{2S} = 1.072$$

$$R_1(25^\circ) = 0.96$$

$$R_{2S} = 0.678$$

$$SFM = 1.16$$

Se observa que el valor del factor de saturación (SFM) está dentro del rango normalizado.

CARACTERÍSTICA DE ROTOR BLOQUEADO

$\frac{P_{cc}}{V_{cc}}$ vs V_{cc}

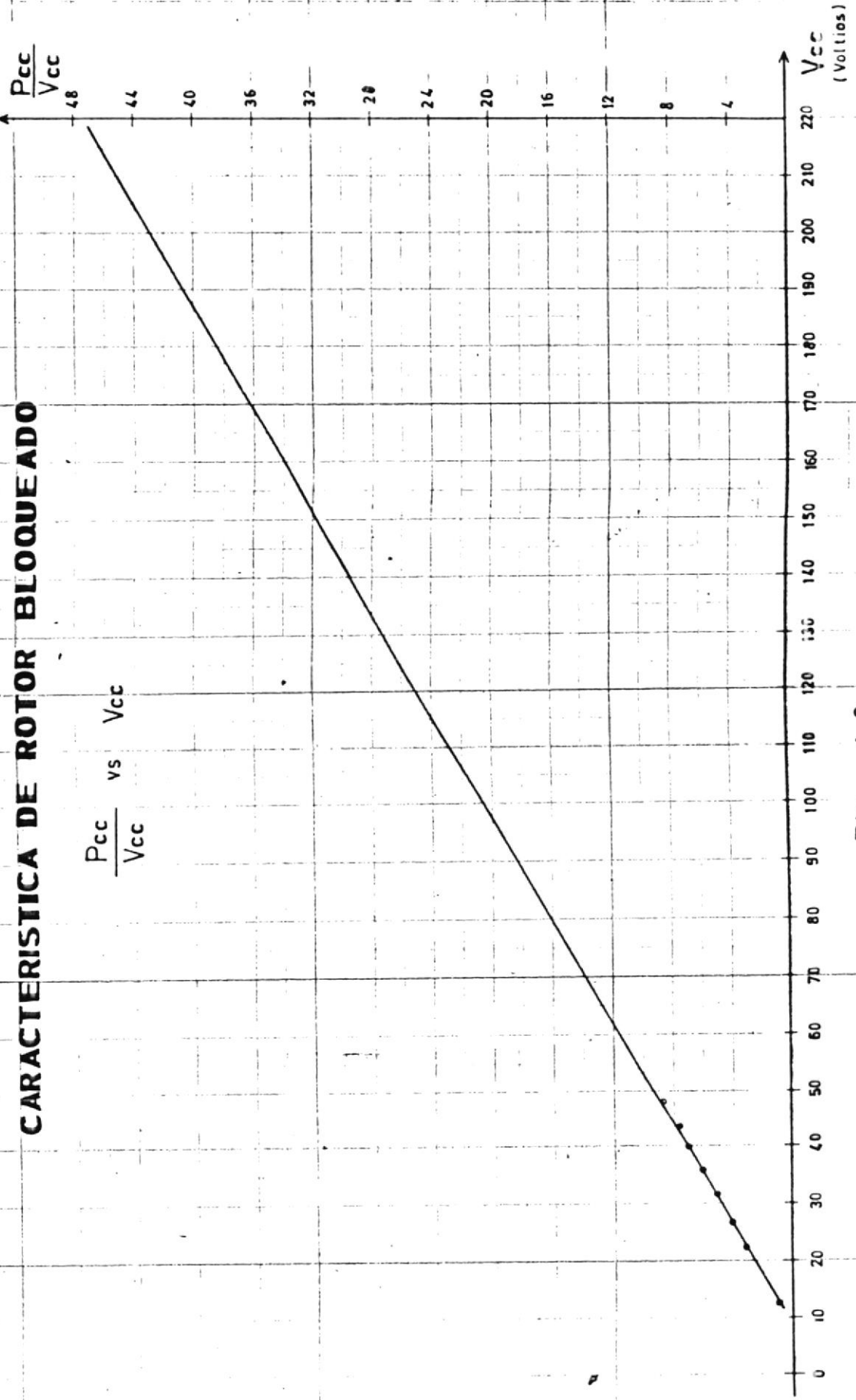


Fig. 4.2

4.2.4. Pérdidas por fricción - ventilación (P_{F+V})

Siguiendo el procedimiento especificado en el numeral N° 2.9.5., se tienen los valores tabulados en la tabla N° 4.2.

TABLA N° 4.2.

DATOS DE PRUEBA DE VACIO NORMAL					
CORRIENTE DEL ESTATOR (AMP.)	VELOCIDAD (RPM)	POTENCIA DE ENTRADA (WAT.)	VOLTAJE POR FASE (VOLT)	PERDIDAS DE COBRE (WATIOS)	$\Sigma P = (P_{F+V}) + (P_{h+E}) + P_{FROT}$
5.47	1796	400	127	86,17	104,6
4.40	1796	250	115	55,75	64
3.20	1796	160	101	29.50	43
2.71	1796	120	87	21.15	33
2.18	1796	88	72	13.72	25
1.70	1796	48	58	8.32	13
1.26	1796	31	43	4.62	8.7
0.70	1796	22	29	1.41	6.7

Se procede a graficar $\Sigma P((P_{F+V}) + (P_{h+E}) + P_{FROT})$ Vs. V_{FASE} , se obtiene la curva dada en la figura N° 4.3. La intersección de -

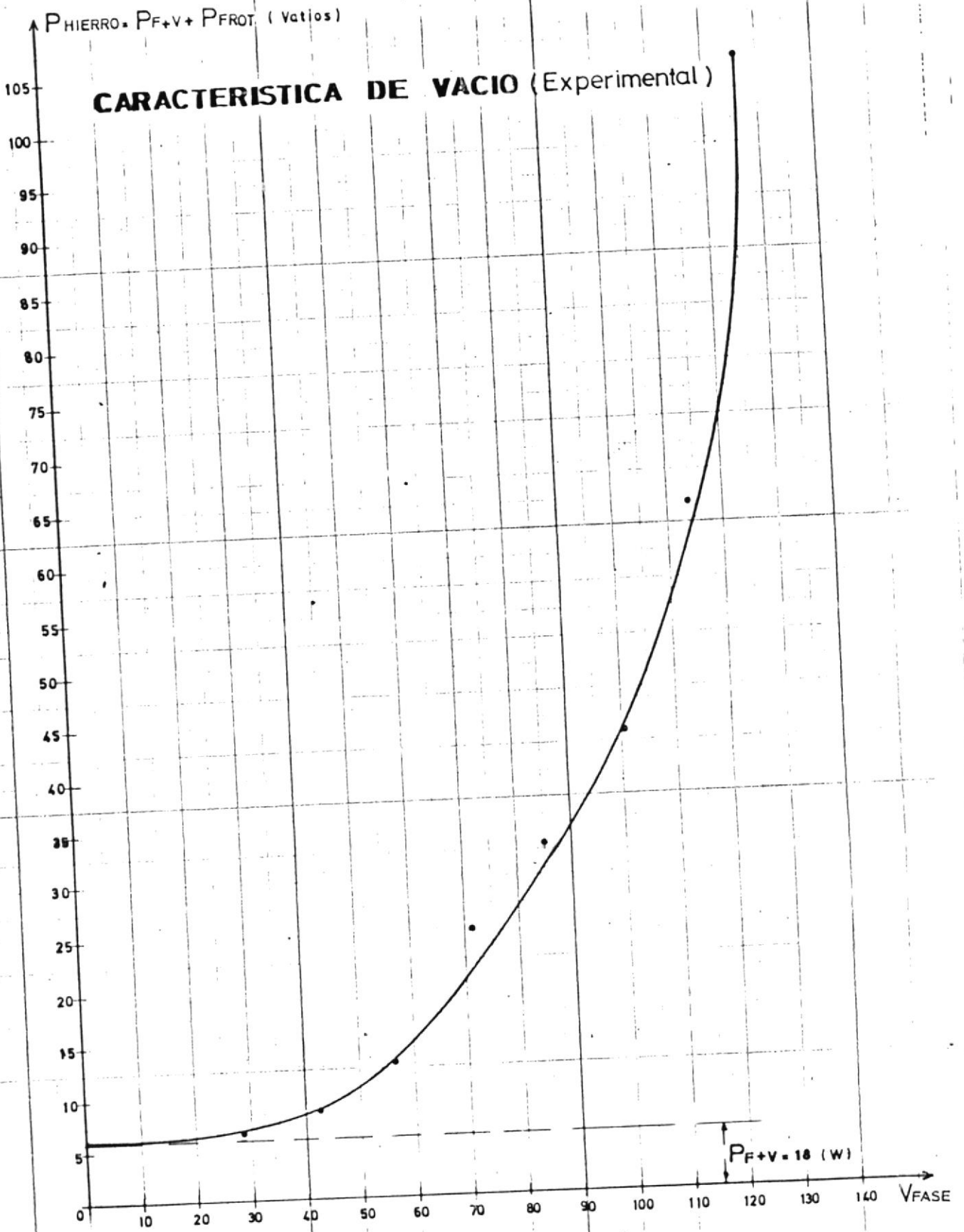


Fig. 4.3

la curva con el eje de las ordenadas da la potencia por fricción + ventilación - (P_{F+V}) por fase, cuyo valor es:

$$(P_{F+V})_{1\phi} = 6 \text{ vatios}$$

$$(P_{F+V})_{3\phi} = 18 \text{ vatios}$$

4.2.5. Pérdidas de carga dispersa

Siguiendo el procedimiento especificado - en el literal 2.9.6., se obtiene los siguientes resultados, tabulados en la tabla N° 4.3.

Se procede a graficar PMDC Vs. IAC para - obtener la curva de la figura N° 4.4.

De la tabla N° 4.2., se obtiene:

$$P_{cu1} (IAC = I_0) = 85,25 \text{ vatios}$$

$$P_{cu1} (IAC = I_n) = 212,78 \text{ vatios}$$

A partir de los gráficos 4.1 y 4.2., se obtiene los siguientes valores de potencia.

TABLA N° 4.3.

MOTOR TRIFASICO AC.		DATOS DE PRUEBA DE CARGA DISPERSA			GENERADOR DC		
I _{AC} (Amp)	I _{DC} (Amp)	V _{DC} (Volt)	P _{cu1} (vatios)	T _{DC} (Kg-m)	RPM	P _{MDC} (vatios)	
5.30	6.50	12.30	85.25	0.0623	1800	115.05	
5.51	6.75	13.00	87.48	0.066	1800	120.72	
5.71	7.00	13.50	94.50	0.069	1800	127.84	
6.12	7.50	14.30	107.50	0.076	1800	140.62	
6.53	8.00	15.50	124.0	0.083	1800	153.40	
6.94	8.50	16.40	139.40	0.090	1800	166.20	
7.34	9.00	17.50	157.50	0.097	1800	179	
7.67	9.40	18.40	172.96	0.1038	1800	192	
8.16	10.00	19.20	192.0	0.1107	1800	204	
8.57	10.50	20.26	212.78	0.1176	1800	217.30	

CARACTERISTICA EN PRUEBA DE CARGA DISPERSA

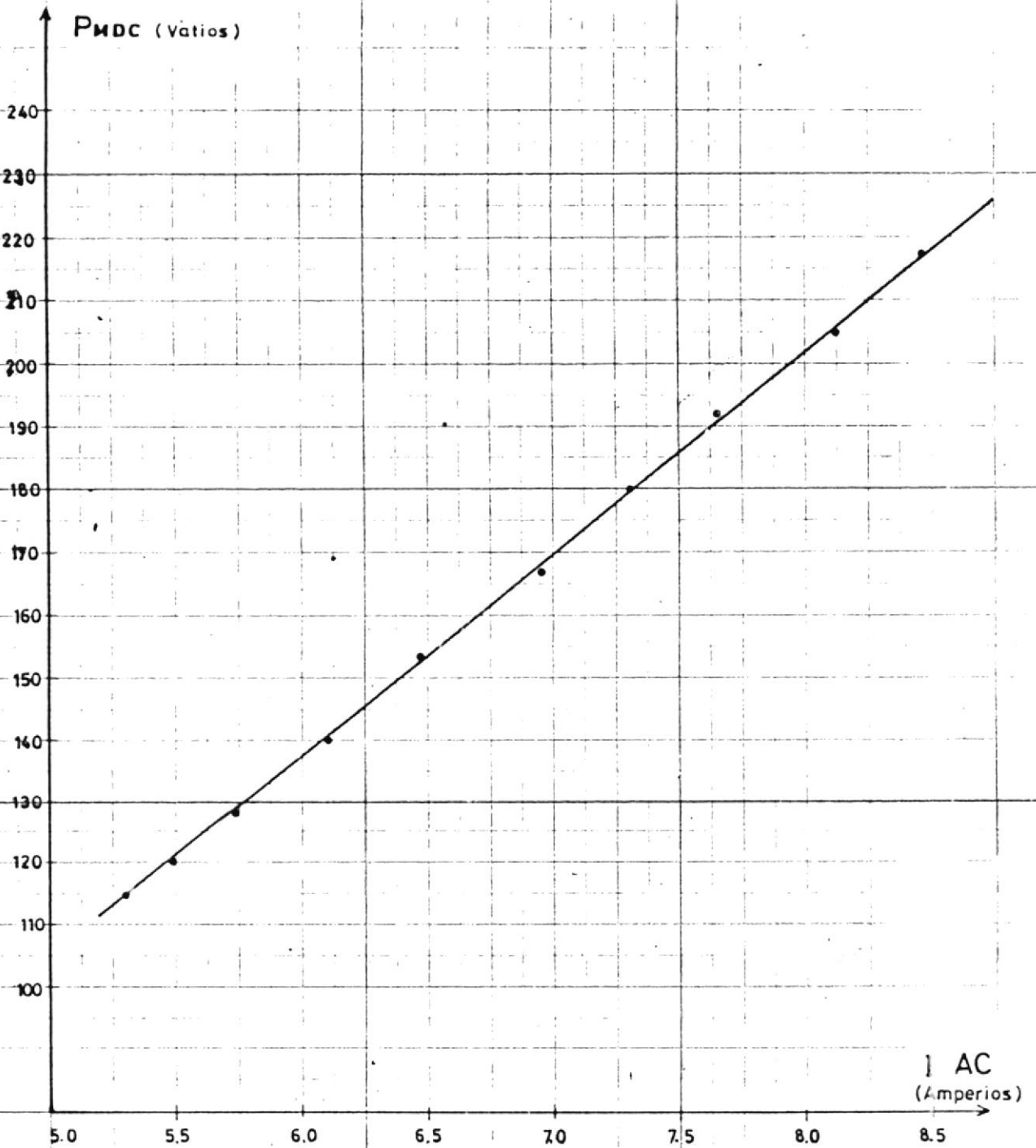


Fig. 4.4

$$P_{CC} (I_{AC} = I_n) = 360 \text{ vatios}$$

$$P_{CC} (I_{AC} = I_0) = 142,60 \text{ vatios}$$

Las pérdidas de cobre en el rotor son:

$$P_{Cu2} (I_{DC} = I_n) = 148 \text{ vatios}$$

$$P_{Cu2} (I_{DC} = I_0) = 57 \text{ vatios}$$

De la tabla N° 4.3., o de la curva de la figura N° 4.4., las pérdidas de la máquina de corriente continua son las siguientes:

$$P_{MDC} (I_{DC} = I_n) = 217 \text{ vatios}$$

$$P_{MDC} (I_{DC} = I_0) = 120 \text{ vatios}$$

Por lo tanto, haciendo uso de la ecuación N°2.124, las pérdidas dispersas son:

$$P_{CD3\phi} = 8.3 \text{ vatios}$$

4.2.6. Pérdidas de hierro rotacionales (PFR_{OT})

Utilizando procedimiento especificado en el literal 2.9.7., se tiene los siguientes

resultados:

PRIMER METODO:

$T_{MDC} = 0.0587 \text{ kg-m.}$

Velocidad = 1800 RPM.

$P_{F+V} = 18 \text{ vatios}$

$P_{FROT} = 87,8 \text{ vatios}$

SEGUNDO METODO:

$P_{TOTAL} = 400 \text{ vatios}$

$P_{h+E} = 206,7 \text{ vatios}$

$P_{cu1} = 86,8 \text{ vatios}$

$P_{CD} = 8 \text{ vatios}$

$P_{FROT} = 81,12 \text{ vatios}$

El valor promedio es:

$P_{FROT} = 84 \text{ vatios}$

En conclusión, se tienen los siguientes valores de parámetros y pérdidas.

$R_1(25^\circ\text{C}) = 0.96 \text{ ohmios}$

$R_1(75^\circ\text{C}) = 1.15 \text{ ohmios}$

$R_m = 2.548 \text{ ohmios}$

$X_m = 21.547 \text{ ohmios}$

$R_{2NS} = 0.629 \text{ ohmios}$

$X_{1NS} = 1.243 \text{ ohmios}$

$$X_{2NS} = 1.243 \text{ ohmios}$$

Los parámetros saturados, para la evaluación de las características de arranque son:

$$X_{1S} = 1.072 \text{ ohmios}$$

$$X_{2S} = 1.072 \text{ ohmios}$$

$$R_{2S} = 0.678 \text{ ohmios}$$

Las pérdidas calculadas son:

$$P_{h+E} = 206,7 \text{ vatios}$$

$$P_{F+V} = 18 \text{ vatios}$$

$$P_{CD} = 8.3 \text{ vatios}$$

$$P_{FROT} = 84 \text{ vatios}$$

$$P_{cul} = 86.8 \text{ vatios}$$

4.3. Pruebas de carga del motor redise- ñado

Utilizando procedimiento especificado en la sección 2.10., tenemos los siguientes valores dados en la tabla 4.4.

TABLA 4.4.

PUNTO	DATOS DE PRUEBA DE CARGA								
	CORRIENTE ESTATOR (Amp)	POTENCIA ENTRADA (VATIOS)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (kg-m)	EFICIENCIA (η)	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA DE SALIDA (Hp)	TEMPERATURA ($^{\circ}$ C)	TIEMPO (MINUTOS)
1	5.42	400	1794	0.055	0.255	0.193	0.137	45 $^{\circ}$	18'
2	6.10	1200	1774	0.4636	0.703	0.516	0.13	53 $^{\circ}$	14'
3	6.54	1450	1762	0.615	0.768	0.58	1.49	57 $^{\circ}$	16'
4	7.08	1650	1752	0.782	0.852	0.61	1.89	62 $^{\circ}$	14'
5	7.55	1950	1744	0.895	0.822	0.68	2.15	66 $^{\circ}$	22'
6	7.98	2250	1734	1.01	0.80	0.74	2.14	70 $^{\circ}$	13'
7	8.45	2450	1724	1.1245	0.809	0.76	2.65	76 $^{\circ}$	18'
8	9.00	2750	1711	1.245	0.795	0.80	2.93	82 $^{\circ}$	17'
9	9.45	2950	1702	1.276	0.755	0.82	2.987	89 $^{\circ}$	12'

... de arranque de los motores de inducción
 de polos salientes de 2 y 4 polos, en los
 nales.

$$HP = 2.65$$

$$I_n = 8.40/4.20 \text{ amperios}$$

$$VLL = 220/440 \text{ (voltios)}$$

$$RPM = 1724$$

$$n = 0.809$$

$$F_p = 0.76$$

$$T_n = 1.12 \text{ kg-m.}$$

$$\text{Temperatura} = 80^\circ\text{C.}$$

Utilizando ecuaciones N°2.71 y 2.74, se verifica:

$$T_{arr} = 2.315 \text{ kg-m.}$$

$$T_{max} = 3.40 \text{ kg-m.}$$

La corriente de arranque según literal -
 4.2.3.b. es:

$$I_{arr} = 48 \text{ amperios}$$

Se verifican las relaciones siguientes:

$$\frac{I_{arr}}{I_n} = 5,71$$

$$\frac{I_{max}}{I_n} = 3.035$$

$$\frac{T_{arr}}{I_n} = 2.06$$

Con los datos de la tabla N° 4.4., se procede a obtener las curvas correspondientes a rendimiento, factor de potencia, torque útil, corriente del estator, velocidad, tal como se muestran en la figura 4.5.

La figura N° 4.6., representa el registro de la temperatura en el devanado del estator, durante el desarrollo de la prueba en carga del motor.

4.4. Oscilogramas de corrientes

La figura N° 4.7., representa la forma de onda de la corriente de vacío, con el valor de igual a:

$$I_0 = 5,091 \text{ amperios}$$

La figura N° 4.8., muestra la forma de on

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO (Experimentales)

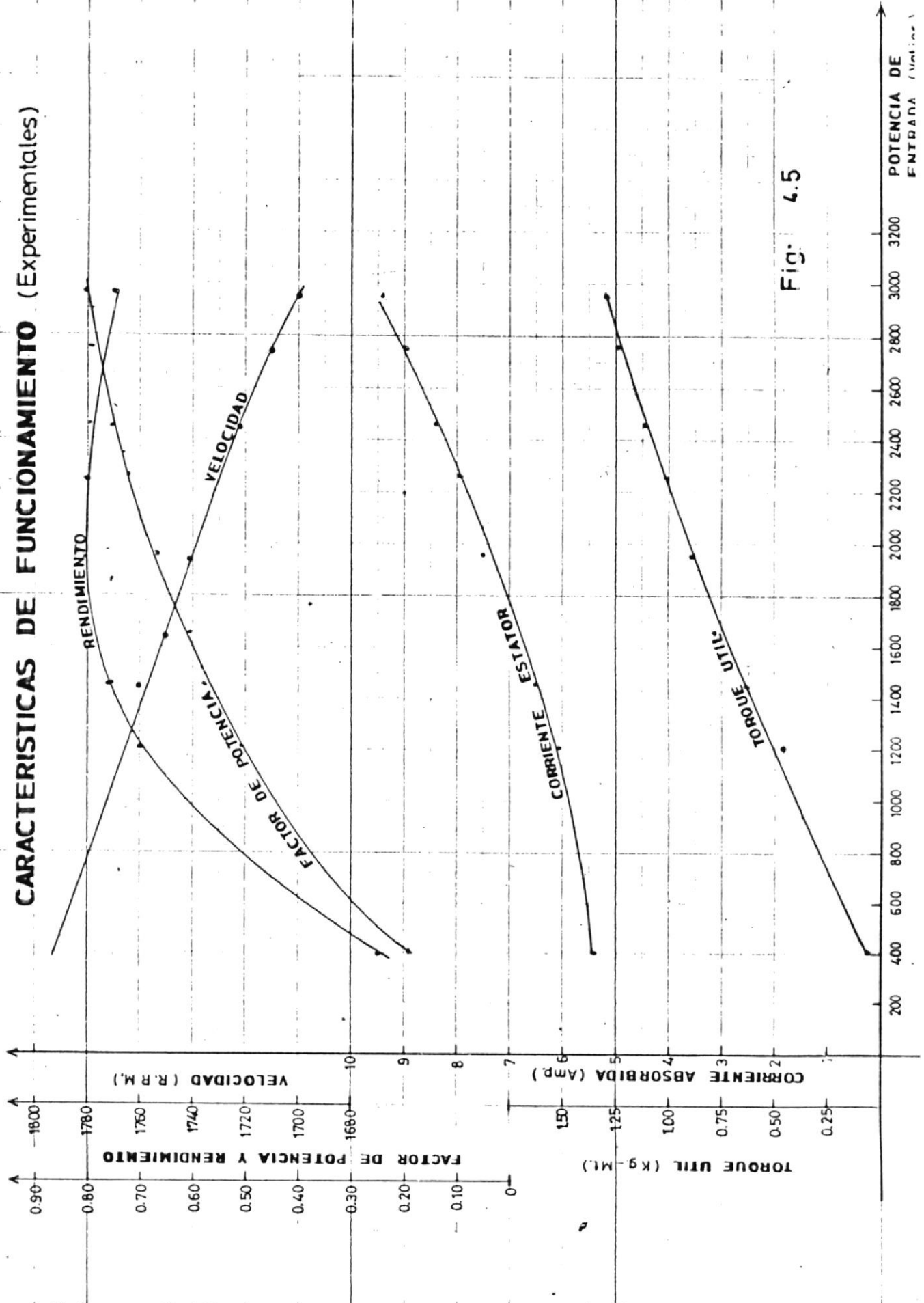
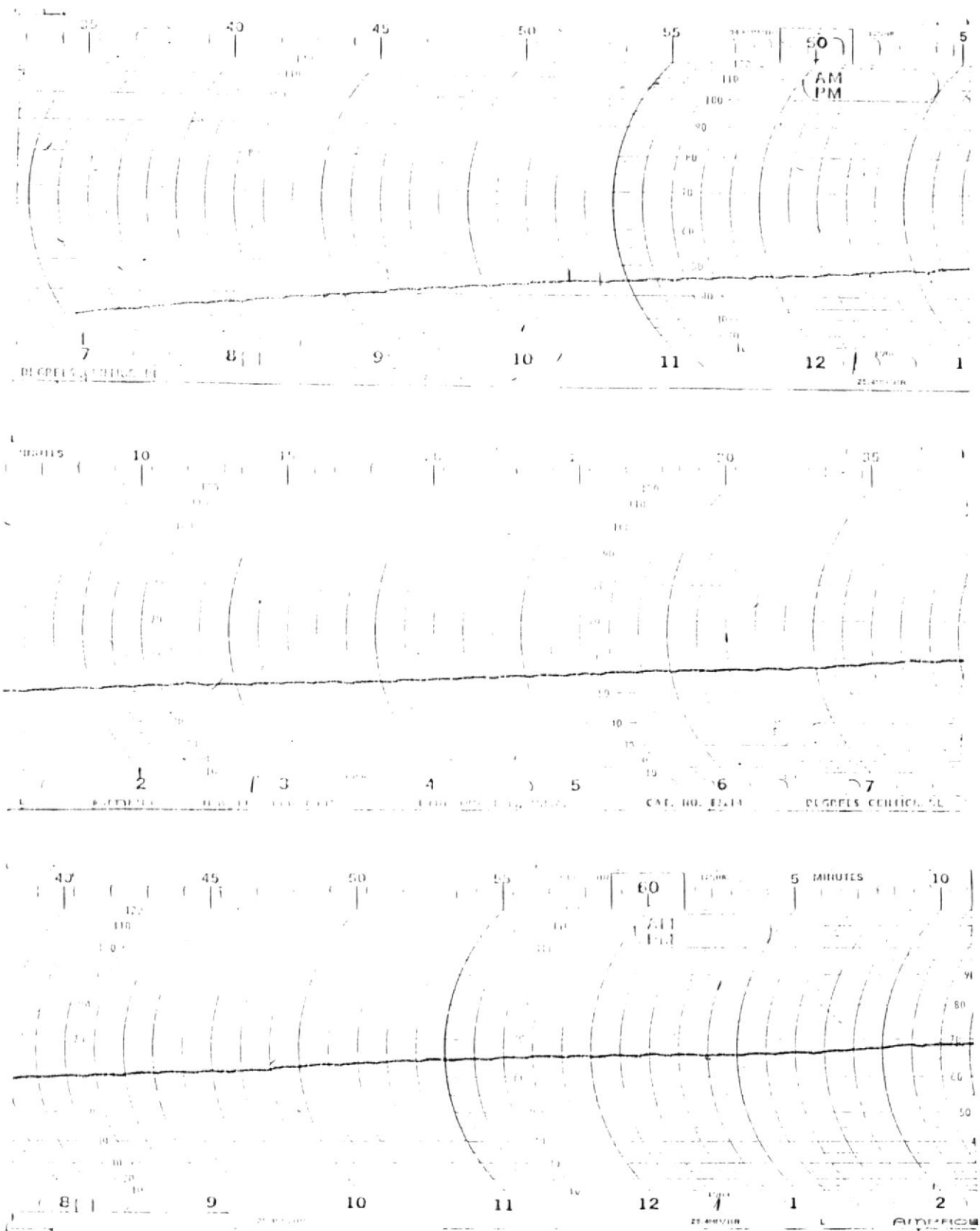


Fig: 4.5

PRIMERA PARTE DE LA FIGURA N°- 4.6.



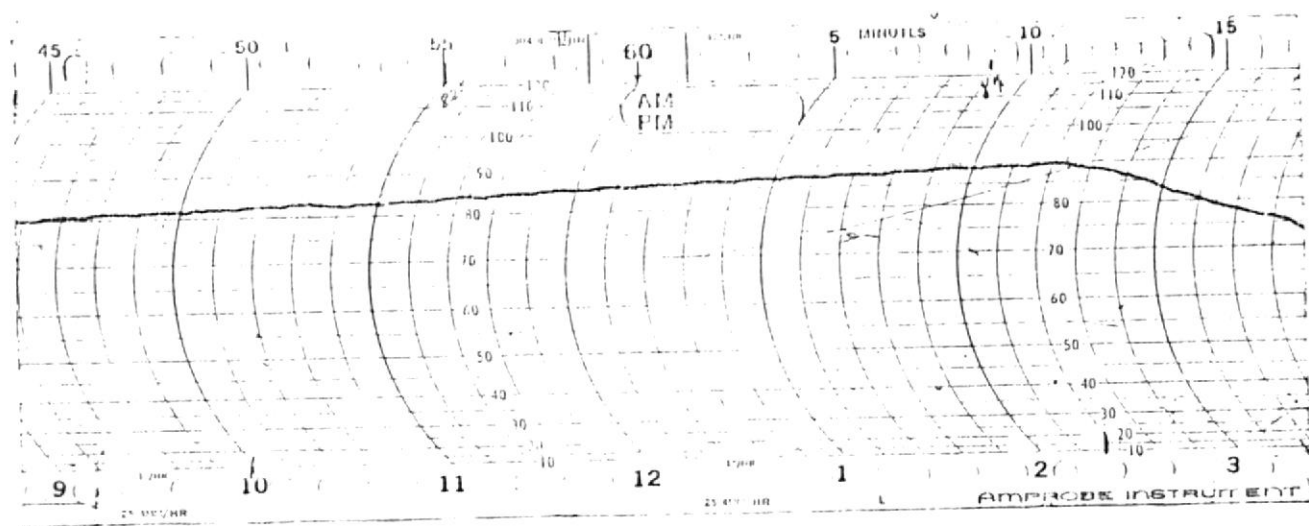
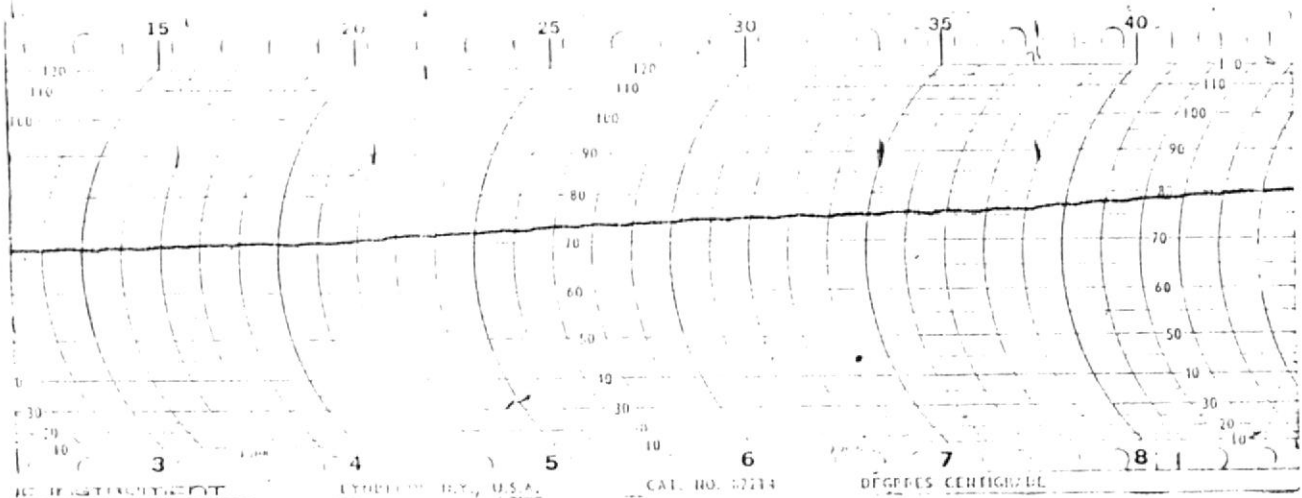


FIGURA N°- 4.6. REGISTRO DE TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR.

da de la corriente a plena carga con va
lor R_{ms} igual a:

$$I_n = 8.48 \text{ amperios.}$$

La figura N° 4.9., muestra la forma de o
nda de la corriente de arranque y su pe
ríodo de arranque iguales a:

$$I_{arr} = 48 \text{ amperios}$$

$$\text{Tiempo arranque} = 0.285 \text{ seg.}$$

Si no se dispone de banco de pruebas, las características se las determina utilizando el método del diagrama de círculo. En el presente trabajo con objeto de comparación de características, se utilizará el método anterior, cuyos resultados son da
dos en la sección 4.8.

4.5. Comprobación de resultados experimentales y teóricas de diseño

La tabla N° 4.5., muestra la diferencia entre los valores asumidos, calculados y experimentales.

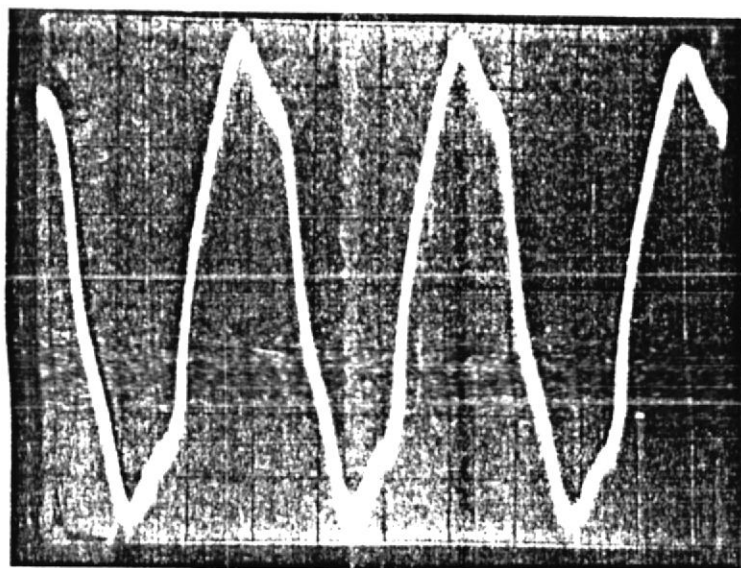


FIGURA N°- 4.7. OSCILOGRAMA DE CORRIENTE EN VACIO
VERTICAL = 2 Amp/DIV.
HORIZCNTAL = 5 mseg./DIV.

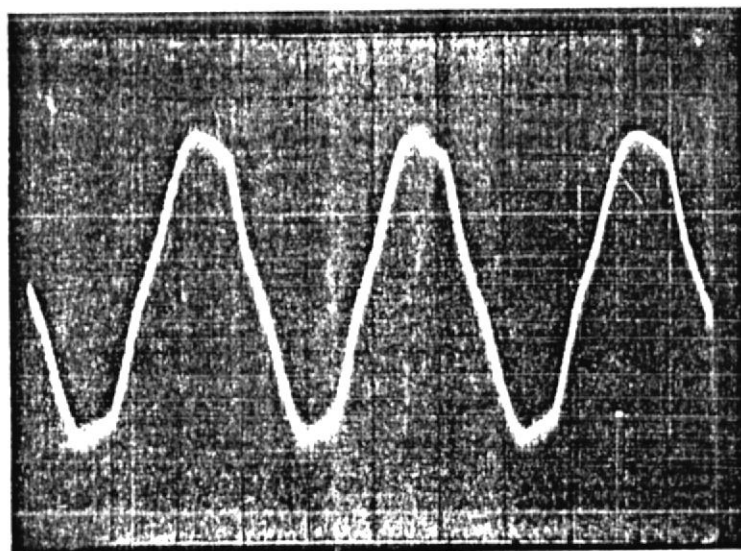


FIGURA ' N° 4.8. OSCILOGRAMA DE CORRIENTE A PLENA CARGA
VERTICAL = 5 Amp./DIV.
HORIZONTAL = 5 mseg./DIV.

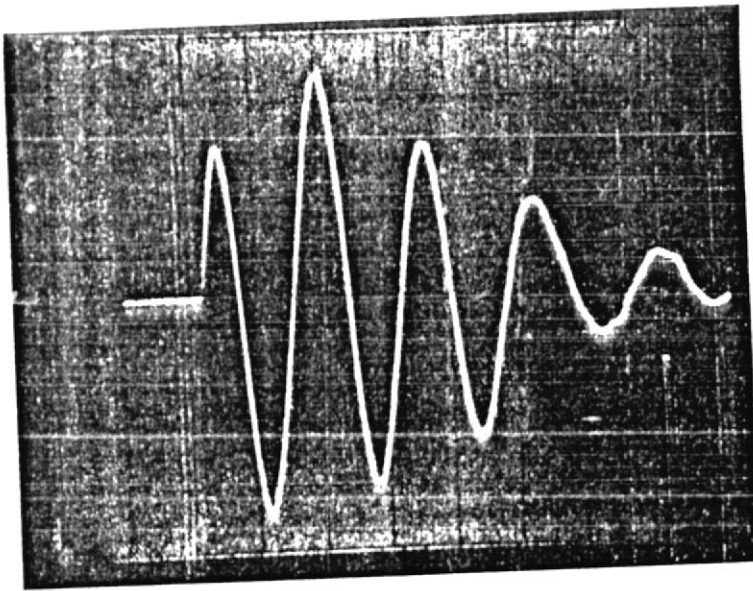


FIGURA N°- 4.9. OSCILOGRAMA DE CORRIENTE DE ARRANQUE

VERTICAL = 20 Amp/DIV.

HORIZONTAL = 50 mseg./DIV.

TABLA N° 4.5.

CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES Y TEORICAS DE DISEÑO

	ASUMIDO	CALCULO TEORICO	EXPERIMENTAL
Potencia útil (HP)	3.00	3.10	2.65
Rendimiento (η)	0.78	0.76	0.809
Factor de potencia (fp)	0.80	0.81	0.76
Velocidad nominal (RPM)	1740	1740	1724
Torque de arranque (TARR)	2.58	2.49	2.315
Torque máximo (TMAX)	3.00	3.99	3.40
Torque nominal (TN)	1.20	1.29	1.12
Corriente de arranque (IARR)	60	52.8	48

La tabla N° 4.6., muestra las diferencias entre parámetros experimentales y teóricos de diseño.

En base a datos experimentales de la tabla 4.5., se verifica que el motor rediseñado tiene las siguientes características principales.

- a. Par de arranque alto
- b. Corriente de arranque dentro del rango normal.
- c. Torque máximo alto
- d. Rendimiento dentro del límite aceptable.
- e. Factor de potencia bajo.

El calentamiento durante la realización de pruebas se registró para los arrollamientos del devanado del estator para las condiciones de carga nominal en 80°C.

El torque máximo alto y bajo, factor de potencia se justifica por la alta densidad de flujo magnético asumido.

TABLA N° 4.6.
 PARAMETROS EXPERIMENTALES Y TEORICOS DE DISEÑO

PARAMETRO	CALCULADO	EXPERIMENTAL	% ERROR
R1(25°)	0.862	0.96	11.36 %
R1(75°)	1.028	1.15	11.86 %
X1NS	0.872	1.243	42.54 %
X2NS	0.872	1.243	42.54 %
R2(25°)	0.514	0.629	22.37 %
R2S	0.550	0.678	23.27 %
X1S	0.872	1.072	22.93 %
X2S	0.872	1.072	22.93 %
Rm	2.176	2.548	17.09 %
Xm	21.006	21.457	2.14 %

4.6. REAJUSTE DE VALORES TEORICOS RESPECTO A VALORES EXPERIMENTALES

Con objeto de reducir los porcentajes de errores entre los valores de los parámetros teóricos y los experimentales, especialmente respecto a las reactancias (X_{1NS} y X_{2NS}), el programa "PTUR1", dispone de las variables de corrección tales como F_{PA} , F_{cx} , FR_2 y SFM , descritos en el Anexo B.

La tabla N° 4.7., muestra los valores asignados.

TABLA N° 4.7.

VALORES DE LOS FACTORES DE CORRECCION		
FACTOR	VALOR NO CORREGIDO	VALOR CORREGIDO
SFM	1.28	1.20
FR2	0.59	0.56
Fcx	1.15	1.60
FPA	0.00	1.00

Respecto a los valores de las características de funcionamiento y pérdidas, se asumen aproximadamente iguales a los experimentales.

Se procede a asignar los valores a programa ar-

chivo datos "DTORI" de acuerdo a criterios anteriores y a ejecutar el programa "TORI". Los resultados se muestran en programa de Rediseño 2.

Los valores de las características asumidas, teóricas y experimentales se tabulan en la tabla 4.8. Los valores de los parámetros teóricos de cálculo y experimentales en la tabla 4.9.

TABLA N° 4.8.

CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES Y TEORICAS DE DISEÑO

CARACTERISTICA	ASUMIDO	DISEÑO TEORICO 2	EXPERIMENTAL
Potencia util (Hpu)	2.60	2.65	2.65
Rendimiento (n)	0.76	0.75	0.809
Factor de potencia(fp)	0.81	0.78	0.76
Velocidad nominal (RPM)	1.730	1.730	1.724
Torque arranque TARR)	2.315	2.73	2.315
Torque máximo(TMAX)	3.40	3.24	3.40
Torque nominal (TN)	1.12	1.11	1.12
Corriente de arranque	48	50	48

De la tabla N° 4.9., se verifica que mediante la corrección de las variables de la tabla N° 4.7., se consigue -

ARCHIVO DE DATOS "DTORI"

36 48	3								10007900
2.65	.76	.805	2.315	3.40	48.00	1.12	1730.0	60.	10007910
220.0	4.	7.	2.	1.	1.0	0.00	0.0	1.40	10007920
1.20	0.475	1.12	0.500	16.00	8.13	206.7	0.19	0.635	10007930
0.0	0.0	1.464	0.0	0.00	0.53	7.05	1.07	1.00	10007940
11.42	0.08	0.08	1.16	0.30	0.55	0.836	2.00	0.50	10007950
11.30	0.0	0.0	0.0	0.076	0.0	0.00	5.16	1.20	10007960
7.05	0.800	-1.00	11.30	10.00	19.600	225.00	1.00	1.60	10007970
84.	0.00	0.60	14000.						

REDISEÑO 2

1 DATOS DE FUNCIONAMIENTO ASUMIDOS PARA EL MOTOR

POTENCIA UTIL = 2.6
 VOLTAGE = 220.0/ 440.0
 CORRIENTE = 8.4 / 4.2
 EFICIENCIA A PLENA CARGA = 0.76
 FACTOR DE POTENCIA A PLENA CARGA = 0.81
 VELOCIDAD NOMINAL = 1730.0
 TORQUE NOMINAL = 1.12
 TORQUE MAXIMO = 3.40
 TORQUE DE ARRANQUE = 2.31
 CORRIENTE DE ARRANQUE = 48.00

DATOS DE FUNCIONAMIENTO CALCULADOS PARA EL MOTOR

POTENCIA UTIL APROXIMADA DEL NUCLEO (HPL) = 3.80

TABLACION DE VALORES DE DENSIDADES DE FLUJO

DENSIDAD FLUJO EN DIENTES	DENSIDAD FLUJO EN CORONA	DENSIDAD FLUJO EN ENTREHIERRO	NUMERO DE VUELTAS
14000.0000	13697.7305	6532.3047	32.00
14500.0000	14186.9375	6765.6016	31.00
15000.0000	14675.1445	6998.8984	30.00
15500.0000	15165.3477	7232.1953	29.00
16000.0000	15654.5508	7465.4883	28.00
16500.0000	16143.7578	7698.7891	27.00
17000.0000	16632.9648	7932.0859	26.00
17500.0000	17122.1680	8165.3789	26.00
18000.0000	17611.3594	8398.6641	25.00

ALTERNATIVA NUMERO= 1
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 27.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 54.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESNUDO MM	DIAMETRO ESMALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILOS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCHA	1.028	0.684	1.222	1.222	2.384	22.407

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTO DE TRABAJO	DES (S)	REN	FP	I0 (AMP)	I1 (AMP)	I2 (AMP)	TORQUE (KG-PT)	POT UTIL (HP)
NOMINAL	0.039	0.155	0.700	5.376	8.813	6.417	1.11	2.65
MAXIMO	0.258	0.489	0.800	5.376	29.793	27.788	3.24	5.96
ARRANQUE	1.000	0.000	0.815	5.376	50.271	47.934	2.73	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	0.862	0.732	1.019	1.019	2.384	22.407

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 2.995
 PERDIDAS DE HISTERESIS+EDDY EN (VATIOS) = 206.700
 PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES EN (VATIOS) = 84.000
 PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (VATIOS) = 8.130
 PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOS) = 18.000
 PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) = 239.424
 PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) = 84.555

ALTERNATIVA NUMERO= 2
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 28.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 56.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESNUDO MM	DIAMETRO ESMALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILOS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCHA	1.066	0.736	1.314	1.314	2.758	24.097

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTO DE TRABAJO	DES (S)	REN	IP	IG (AMP)	I1 (AMP)	I2 (AMP)	TORQUE (KG-MT)	PGT UTIL (HP)
NOMINAL	0.039	0.750	0.782	4.959	8.233	5.977	1.04	2.47
MAXIMO	0.259	0.491	0.797	4.999	27.979	26.080	3.05	5.60
ARRANQUE	1.000	0.000	0.608	4.555	47.093	44.897	2.58	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	0.853	0.780	1.055	1.055	2.758	24.097

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 3.106
 PERDIDAS DE HISTERESIS+LODY EN (VATIOS) = 206.700
 PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES EN (VATIOS) = 84.000
 PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (VATIOS) = 8.130
 PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOS) = 18.000
 PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) = 216.665
 PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) = 78.897

ALTERNATIVA NUMERO= 3
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 27.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 54.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESNUDO MM	DIAMETRO ESMALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILOS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCHA	1.028	0.684	1.222	1.222	2.384	22.407

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTO DE TRABAJO	DES (S)	REN	IP	IG (AMP)	I1 (AMP)	I2 (AMP)	TORQUE (KG-MT)	PGT UTIL (HP)
NOMINAL	0.039	0.755	0.780	5.376	8.815	6.417	1.11	2.65

MAXIMO	0.250	0.489	0.800	5.376	29.793	27.788	3.24	5.56
ARRANQUE	1.000	0.000	0.615	5.376	50.271	47.934	2.73	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	0.862	0.732	1.019	1.019	2.384	22.407

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 2.595
 PERDIDAS DE HISTERESIS+EDDY EN (WATIOS) = 206.700
 PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES EN (WATIOS) = 84.000
 PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (WATIOS) = 8.130
 PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (WATIOS) = 18.000
 PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (WATIOS) = 239.424
 PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (WATIOS) = 64.555

ALTERNATIVA NUMERO= 4
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 28.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 56.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESNUDO MM	DIAMETRO ESMALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILCS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCHA	1.086	0.736	1.314	1.314	2.758	24.097

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTO DE TRABAJO	DFS (S)	REN	FP	I0 (AMP)	I1 (APP)	I2 (AMP)	TORQUE (KG-MT)	POT UTIL (HP)
NOMINAL	0.039	0.750	0.782	4.959	8.233	5.977	1.04	2.47
MAXIMO	0.259	0.451	0.797	4.959	27.979	26.080	3.05	5.60
ARRANQUE	1.000	0.000	0.608	4.959	47.093	44.897	2.58	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	0.993	0.788	1.095	1.095	2.758	24.097

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 3.106
 PERDIDAS DE HISTERISIS+EDDY EN (VATIOS) = 206.700
 PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES EN (VATIOS) = 84.000
 PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (VATIOS) = 8.130
 PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOS) = 18.000
 PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) = 216.669
 PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) = 78.897

ALTERNATIVA NUMERO= 5
 NUMERO DE VUELTAS POR BOBINA (VUEL)= 27.0
 NUMERO DE CONDUCTORES POR RANURA= 54.0

ESPECIFICACIONES DE CONDUCTORES CALCULADOS

CALIBRE NUMERO	DIAMETRO DESRODC MM	DIAMETRO ESFALTADO MM	AREA DEL COBRE 2 MM	NUMERO DE HILCS EN PARALELO
18.0000	1.0240	1.0620	0.8230	1.0

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
MARCA	1.028	0.684	1.222	1.222	2.384	22.407

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

PUNTO DE TRABAJO	DES (S)	KEN	FP	IG (AMP)	I1 (AMP)	I2 (AMP)	TGRUE (KG-MT)	PCT UTIL (HP)
NOMINAL	0.039	0.755	0.780	5.376	8.813	6.417	1.11	2.65
MAXIMO	0.258	0.489	0.800	5.376	29.793	27.788	3.24	5.96
ARRANQUE	1.000	0.000	0.615	5.376	50.271	47.934	2.73	0.00

VALORES DE PARAMETROS

	R1	R2	X1	X2	RM	XM
ARRANQUE	0.862	0.732	1.019	1.019	2.384	22.407

PESO TOTAL DEL ALAMBRE EN (KG) = 2.995
 PERDIDAS DE HISTERISIS+EDDY EN (VATIOS) = 206.700
 PERDIDAS DE FIERRO ROTACIONALES EN (VATIOS) = 84.000

215

PERDIDAS DE CARGA DISPERSA EN (VATIOS) = 8.130
PERDIDAS DE FRICCION+VENTILACION EN (VATIOS) = 18.000
PERDIDAS DE COBRE DEL ESTATOR EN (VATIOS) = 239.424
PERDIDAS DE COBRE DEL ROTOR EN (VATIOS) = 84.555

ESPECIFICACIONES DEL DEVANADO A REALIZARSE

TIPO DE DEVANADO

EXCENTRICO-DOS CAPAS-ENTERO-PASO DE BOBINA IGUAL
CONEXION DE LAS FASES (0=DELTA 1=ESTRELLA) = 1.0
NUMERO DE TRAYECTORIAS EN PARALELO = 2.0
NUMERO DE POLOS = 4.0
PASO DE BOBINA = 1- 8.0
CLASE DE AISLAMIENTO (0=TIPO A 1=TIPO B) = 1.0
NUMERO DE RANURAS/POLLO/FASE = 3.0
NUMERO TOTAL DE GRUPOS = 12.0
CONEXION DE GRUPOS/POLLO/FASE (0=REALES 1=CONSECUTIVOS) = 0.0
DESPLAZAMIENTO ELECTRICO ENTRE FASES = 6.0 RANURAS

DIMENSIONES DE LAS BOBINAS EN (CM)

AMPLITUD (EMAX) = 5.068
LONGITUD RECTA (LRI) = 12.050
ANCHURA (ANCHU) = 7.885
ALTURA (H) = 2.170

TABLA N° - 4.9.

PARAMETROS EXPERIMENTALES Y TEORICAS DE DISEÑO

PARAMETRO	CALCULADO	EXPERIMENTAL	% ERROR
R1(25°)	0.862	0.96	+11.36 %
R1(75°)	1.028	1.15	+11.86 %
X1NS	1.222	1.243	+1.71 %
X2NS	1.222	1.243	+1.71 %
R2(25°)	0.732	0.629	-16.37 %
R2S	0.684	0.678	-0.88 %
X1S	1.019	1.072	+5.20 %
X2S	1.019	1.072	+5.20 %
Rm	2.348	2.548	+8.52 %
Xm	22.407	21.457	-4.47 %

el objeto propuesto. Debe observarse que variaciones pequeñas en el factor de saturación (SFM) y factor de resistencia del rotor (FR2) tienen influencia en la potencia útil, torque de arranque, T_{max} , etc.

4.7. TRAZADO DEL DIAGRAMA DE CIRCULO

En caso de no disponer de un banco de pruebas, para los propósitos de obtención de las características de funcionamiento y con el objeto de compararlos con los valores teóricos del diseño, recurrimos al trazado del diagrama de círculo.

El archivo "DTOR2", contiene los valores asignados a las variables siguientes:

Voltaje de línea (VOV) = 220 voltios
 Corriente de vacío normal (COV) = 5.47 amperios
 Potencia de vacío normal (POV) = 400 vatios
 Corriente de vacío ideal (CVI) = 5.20 amperios
 Potencia de vacío ideal (PVI) = 300 vatios
 Voltaje de tensión reducida (VTR) = 44 voltios
 Corriente de tensión reducida (CTR) = 8.4 amperios
 Potencia de tensión reducida (PTR) = 360 vatios
 Número de fases (M) = 3.
 Conexión eléctrica entre fases del estator (CONE) = 1
 Pérdidas por fricción + ventilación (PFV)=18 vatios

Pérdidas de fierro rotacionales (P_{FR}) = 90 vatios
Resistencia del estator por fase a 25°C (R_{25}) = 0.96
ohmios.

Factor de efecto pelicular en reactancia (EPX_2) = 1.00
Corriente de arranque a plena tensión (CTP) = 48 amperios.

Potencia a plena tensión (PTP) = 10566 vatios.

Con los datos anteriores y siguiendo el procedimiento especificado en el Manual del Usuario para el Programa "TOR2" (Ver Anexo E), se obtiene el trazado del diagrama de círculo.

Del gráfico ; se procede a trazar las líneas correspondientes a rendimiento, deslizamiento y factor de potencia.

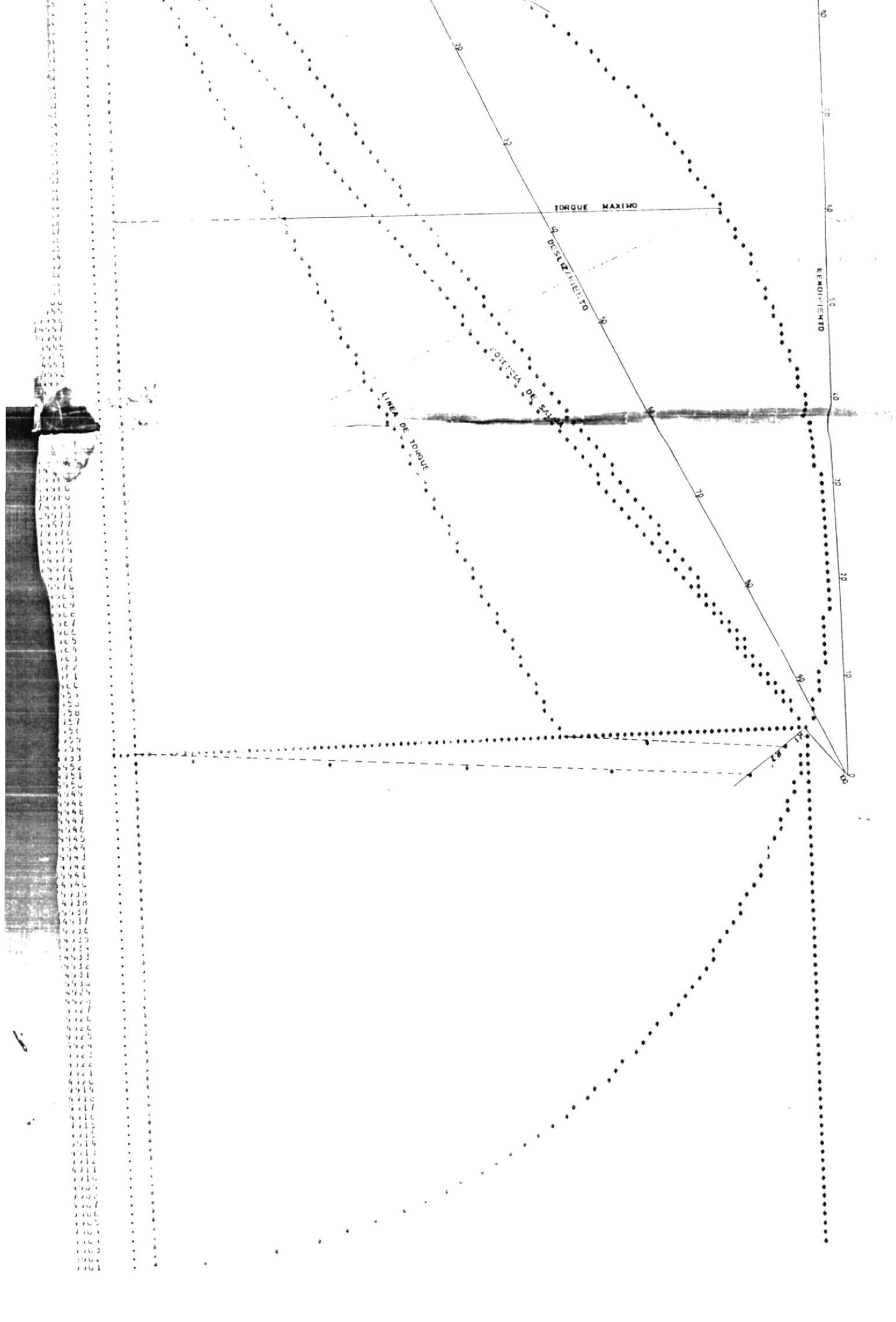
4.8. Características del Diagrama de círculo

Del trazado del diagrama de círculo, se procede a determinar, para diez puntos diferentes, las características mostradas en la tabla N° 4.10.

Con los datos de la tabla N° 4.10., se procede a graficar las curvas de rendimiento, de

ARCHIVO DE DATOS "DTOR2"

220.00	5.47	400.00	5.20	300.00	44.0	8.4	360.	10007.
3.	1.	18.	90.000	0.96	1.00	47.5	10430.	10007.



TORQUE MAXIMO

RENDIMIENTO

LÍNEA DE VELOCIDAD

LÍNEA DE TORQUE

LÍNEA DE VELOCIDAD

100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200

10
 20
 30
 40
 50
 60

TABLA N° - 4.10.

CARACTERISTICAS DEL DIAGRAMA DE CIRCULO							
PUNTO	CORRIENTE ESTATOR (Amp)	POTENCIA ENTRADA (VATIOS)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE UTIL (Kg-m)	EFICIENCIA (η)	FACTOR DE POTENCIA (FP)	POTENCIA UTIL (HP)
1	5.52	884.45	1782	0.26	0.54	0.42	0.64
2	6.08	1263.40	1773	0.46	0.67	0.54	1.128
3	6.72	1916.31	1765	0.615	0.706	0.617	1.49
4	7.33	2253.24	1753	0.795	0.75	0.687	1.918
5	7.94	2421.7	1746	0.951	0.76	0.745	2.28
6	8.54	2716.52	1741	1.037	0.76	0.744	2.48
7	9.17	2969	1731	1.173	0.77	0.77	2.79
8	9.77	3158.7	1731	1.291	0.77	0.79	3.079
9	10.25	3453.7	1724	1.390	0.78	0.81	3.30
10	11.0	3453.6	1714	1.530	0.78	0.82	3.61

velocidad, de factor de potencia, de torque -
útil, de corriente del estator en función de
la potencia salida dada en la figura N° 4.10.

De la figura N° 4.10., se selecciona el pun
to de funcionamiento en condiciones nominales
dada por:

$$H_p = 2,50$$

$$I_n = 8.5 \text{ amperios}$$

$$V_{LL} = 220 \text{ voltios}$$

$$RPM = 1740$$

$$\eta = 0.76$$

$$f_p = 0.75$$

$$T_n = 1.05 \text{ kg-m}$$

A partir del gráfico del diagrama de círculo,
se obtiene los torques siguientes:

$$T_{arr} = 1.94 \text{ kg-m}$$

$$T_{max} = 3.47 \text{ kg-m}$$

$$I_{arr} = 48 \text{ amperios}$$

Se verifica las siguientes relaciones:

$$\frac{I_{arr}}{I_n} = 5,71$$

223

$$\frac{T_{max}}{T_n} = 3,035$$

$$\frac{T_{arr}}{T_n} = 1,845$$

4.9. COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES - DIAGRAMA DE CIRCULO - TEORICAS DE DISEÑO

La tabla N° 4.11., muestra los valores de las características teóricas del rediseño, los experimentales y los obtenidos del Diagrama de círculo.

De la tabla N° 4.11., se verifica que el rendimiento y la potencia de salida son menores a los correspondientes valores experimentales, por lo que verifico el criterio expuesto en la sección 2.10.1.

El torque de arranque y el torque nominal son menores a los valores experimentales, debido a que no se considera la saturación magnética.

TABLA N°- 4.11.

CARACTERISTICAS EXPERIMENTALES. DIAGRAMA DE CIRCULO Y TEORICAS DE DISEÑO		DIAGRAMA DE CIRCULO
PUNTO CARACTERISTICO	TEORICO REDISEÑO 1	EXPERIMENTAL
Potencia útil	3.10	2.65
Rendimiento	0.76	0.809
Factor de potencia	0.81	0.76
Velocidad	1740	1724
Torque de arranque	2.49	2.315
Torque máximo	3.99	3.40
Torque nominal	1.29	1.12
Corriente arranque	52.8	48
		1740
		1.94
		3.47
		1.05
		48

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. En ausencia del devanado y placa indicadora de datos, el método de asumir valores de densidad de flujo magnético y densidad de corriente, permite obtener un rediseño normal a la potencia, velocidad y eficiencia que el diseñador estime conveniente.
2. Las características de funcionamiento del motor que se ha rediseñado, deberán ser comprobadas por pruebas experimentales y ensayos de carga.

En el rediseño del motor del presente trabajo, se determinaron las siguientes características y relaciones::

Potencia útil :	2.65 HP
Rendimiento:	0.809
Factor de potencia:	0.76
Velocidad del rotor:	1724 RPM
Torque nominal:	1.12 kg - mt
Torque máximo:	3.40 kg - mt
Torque arranque:	2.315 kg - mt
Corriente arranque:	48 amperios

Temperatura del devanado

primario a carga nominal: 80°C

$$\frac{T_{arr}}{T_n} = 2.06$$

$$\frac{T_{max}}{T_n} = 3.03$$

$$\frac{\text{KVA de rotor bloqueado}}{\text{HP}} = 2.24$$

3. Las características del motor rediseñado, deberá sujetarse a normas nacionales o internacionales de construcción de motores tales como INEM, NEMA, ANSI, IEEE, ICE, etc.

De acuerdo a la Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas (NEMA), el motor rediseñado en el presente trabajo, tiene las siguientes especificaciones:

Tipo de diseño = "A"

Código de letra = "A"

Clase de aislación = "B"

$$\frac{T_{arr}}{T_n} < 2.5 \text{ (NEMA)}$$

$$\frac{T_{max}}{T_n} > 2,50 \text{ (NEMA)}$$

$I_{arr} < 64$ amperios (NEMA)

4. Puede suceder si las características del motor rediseñado, no se cumplan satisfactoriamente en una o varias de ellas de acuerdo a las Normas de Construcción se deberá sacrificar algunas de las características para obtener un normal comportamiento del motor.

La razón fundamental radica, en que el método utilizado, parte del hecho que se tiene un núcleo magnético del estator y rotor Jaula de Ardilla, quedando únicamente por variar los dos factores siguientes:

- a. Número de vueltas del devanado del estator.
- b. Diámetro del conductor

En el rediseño del motor del presente trabajo, se tiene un bajo valor de factor de potencia.

Las recomendaciones principales son:

1. Proseguir el presente trabajo en el rediseño del devanado del rotor de motores de inducción con rotor devanado.
2. Investigar un procedimiento para la medición de la resistencia del rotor Jaula de ardilla, sin considerar la prueba de rotor bloqueada a tensión reducida.
3. Para efectos de exactitud en cálculo de parámetros y características, se recomienda tomar las dimensiones del núcleo del estator y rotor con equipo de medición de alta precisión.
4. En caso de no disponerse de un Banco de pruebas para la determinación de las características de operación, utilizar el trazado del diagrama de círculo, disponible del programa "TOR2"

A N E X O S

ANEXO A

ARCHIVO "DTABLA"

Este archivo contiene las características del alambre de co
bre redondo - desnudo y aislado. Además curva de pérdidas -
magnéticas en el hierro.

CALIBRE (AWG)	DIAMETRO DESNUDO (mm)	ALAMBRE ES MALTADO. (mm)	AREA DEL COBRE (mm ²)	VATIOS POR Kg POR CI CLO.	DENSIDAD MAGNE TICA DE FLUJO (GAUSS)
10	2.588	2.639	5.261	0.0440	4649.72
11	2.305	2.355	4.172	0.06136	6199.62
12	2.053	2.101	3.309	0.0772	6974.58
13	1.828	1.877	2.624	0.0882	7439.55
14	1.628	1.676	2.081	0.1102	8524.48
15	1.450	1.496	1.650	0.1322	9609.42
16	1.291	1.334	1.309	0.1543	10074.40
17	1.150	1.191	1.038	0.1763	11159.30
18	1.024	1.062	0.823	0.1984	11779.4)
19	0.9116	0.950	0.6529	0.2224	12399.25
20	0.8118	0.848	0.5176	0.1425	13174.20
21	0.7228	0.759	0.4105	0.2645	13639.18
22	0.6438	0.6756	0.3255	0.2866	14259.00
23	0.5733	0.6071	0.2581	0.3086	14724.00
24	0.5105	0.5410	0.2047	0.3307	15189.00
25	0.4547	0.4828	0.16240	0.3527	15809.00
26	0.4049	0.4318	0.12880	0.3747	16351.00
27	0.3606	0.3861	0.10210	0.3968	16378.00
28	0.3211	0.3454	0.0809	0.4188	17358.00
29	0.2860	0.3100	0.06420	0.4409	17824.00

- A = número de circuitos en paralelo por fase
- A_{is} = clase de aislamiento con valores:
- $A_{is} \leq 0$, clase "A"
- $A_{is} > 0$, clase "B"
- CONE = conexión eléctrica entre las fases del estator con valores:
- $CONE \leq 0$, conexión delta
- $CONE > 0$, conexión estrella
- CPOLAR = conexión entre grupos polo fase, con valores:
- $CPOLAR \leq 0$, conexión polos reales
- $CPOLAR > 0$, conexión polos consecuentes
- FRAN1 = forma de ranura del estator, dependiendo del tipo:
- $FRAN1 < 0$, ranura trapezoidal de fondo redondo.
- $FRAN1 = 0$, ranura trapezoidal
- $FRAN1 > 0$, ranura rectangular
- FRAN2 = forma de ranura del rotor, dependiendo del tipo:
- $FRAN2 < 0$, ranura circular
- $FRAN2 = 0$, ranura rectangular
- $FRAN2 > 0$, cuando se desconoce la forma de la ranura.

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE DIAGRAMA DE CIRCULO

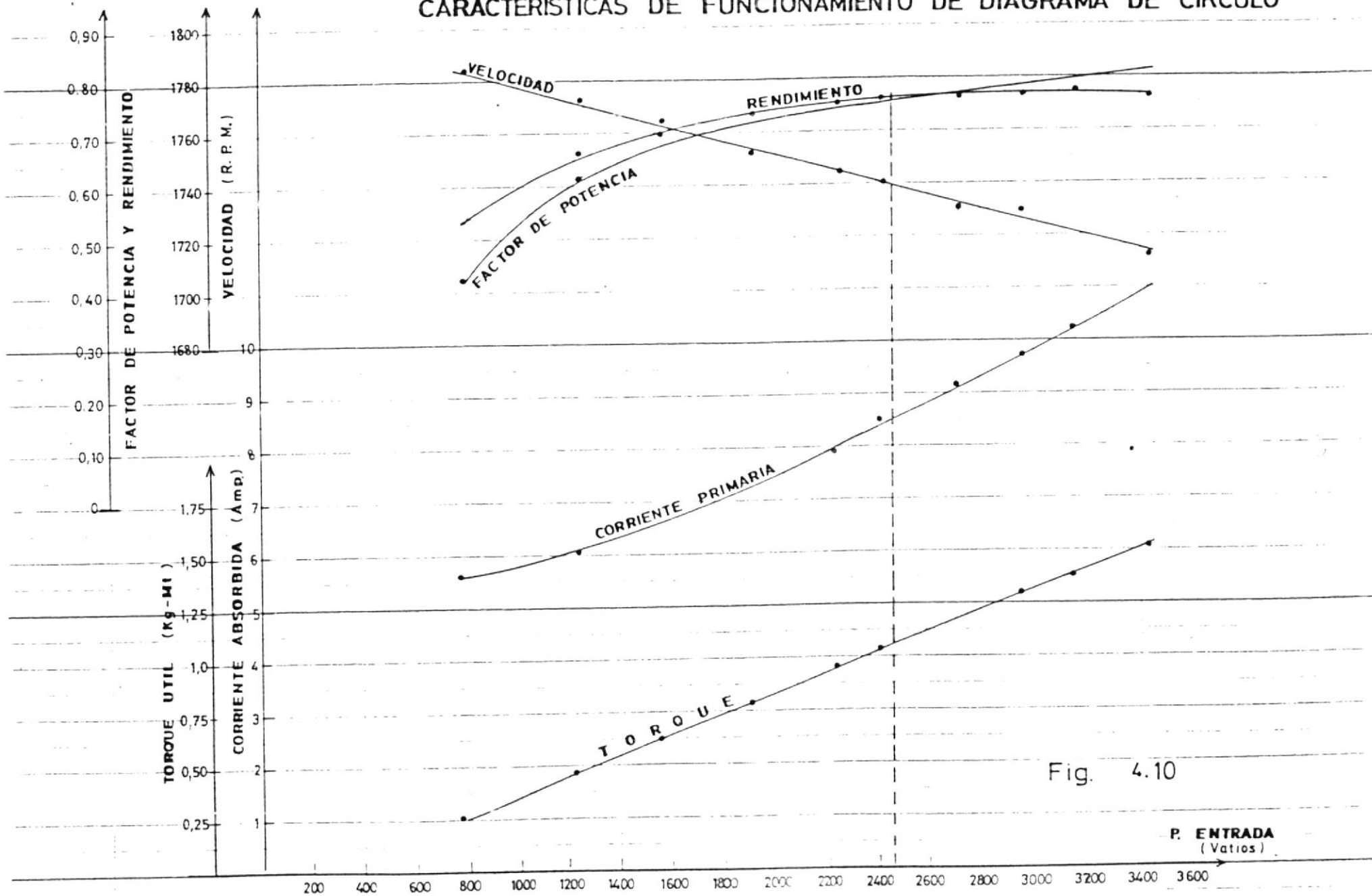


Fig. 4.10

P. ENTRADA (Watts)

ANEXO B

ARCHIVO DE DATOS "DTOR1"

El archivo de datos "DTOR1", está conformado por las siguientes variables:

NRAN1 =	número de ranuras del estator
NRAN2 =	número de ranuras del rotor
M =	número de fases
HPD =	potencia útil de salida (HP)
REND =	rendimiento asumido
DFP =	factor de potencia asumido
Tarr =	torque de arranque en (kg-m)
Tmax =	torque máximo asumido en (kg-m)
IARR =	corriente de arranque asumida en (Amp)
TND =	torque nominal asumido en (kg-m)
RPM =	velocidad nominal asumida de la flecha en (RPM)
F =	frecuencia de la línea en (HZ)
VLL =	voltaje de línea - línea en (Volts)
P =	número de polos
Ybob =	paso de bobina asumido

- SFM = factor de saturación asumido
- E1 = factor de ranura del estator, obtenido en curvas.
- FZONA = factor de zona obtenida de curva, dependiendo de NRAN1 y NRAN2.
- FR2 = factor de resistencia del rotor, con valores:
 FR2 \leq 0, se conoce las dimensiones de barras y los anillos del rotor y se calcula la resistencia del rotor.
 FR2 > 0, se asume el factor de acuerdo al tipo de diseño.
- Fpv = factor de pérdidas por ventilación asumido en (vatios).
- Fpd = factor de pérdidas por carga dispersa en (vatios)
- Fpn = factor de pérdidas en el núcleo totales en (vatios) con los siguientes valores:
 Fpn \leq 0, calcula las pérdidas magnéticas en base a los datos de la curva archivada en "DTABLA".
 Fpn > 0, asume las pérdidas trifásicas totales en (vatios).
- I_ω = espacio de la anchura ocupado por el aislamiento en (cm), tomado de la tabla N° 1.2.

- I_d = espacio en profundidad ocupado por el aislamiento en (cm), tomado de la tabla N° 1.2
 N_{CAT} = número de canales transversales en el núcleo del estator.
 D_{CAT} = diámetro de canales transversales en (cm)
 H_C = altura de la corona o el yugo del estator - en (cm).
 D_{CL} = diámetro de los canales longitudinales del estator en (cm).
 R_{13} = radio del semicírculo de la ranura del estator con fondo redondo en (cm)
 K = factor de aislamiento de las láminas del estator tomado de la tabla N° 1.1.
 L_f = longitud axial del paquete de chapas comprendido los canales transversales en (cm).
 E_{PR2} = factor del efecto pelicular en la resistencia del rotor, tomado de la curva N° 2.1.
 E_{PX2} = factor del efecto pelicular en la reactancia del rotor, tomada de la curva N° 2.1.
 D_1 = diámetro interior del estator en (cm).
 $D_{10}, D_{11}, D_{14},$
 $W_{10}, W_{11}, W_{13},$
 D_{15} = dimensiones de las ranuras del estator en (cm).
 W_D = ancho del diente del estator en (cm)
 D_2 = diámetro del rotor en (cm)

- D20, D21, D24,
W20,W21,W23 = dimensiones de las ranuras del rotor en (cm).
- DCD = densidad de la corriente asumida en - (Amp/mm²).
- Fca = factor que considera el efecto de la corriente alterna en la evaluación de la resistencia del estator.
- Lb = longitud de la barra del rotor en (cm)
- SK = longitud del sesgado de la barra del rotor en (cm)
- TMB = tipo de material de la barra del rotor y del anillo correspondiente; tomando valores.
- TMB \leq 0, material tipo cobre
TMB > 0, material tipo aluminio
- DC = diámetro a los centros de la barra del rotor en (cm).
- DI = diámetro interior de los anillos en (cm)
- SB = sección de la barra del rotor en (mm²)
- SA = sección transversal de los anillos en (mm²)
- FPA = factor que considera las condiciones para la evaluación de los parámetros de arranque.
- FPA \leq 0, no considera la resistencia del estator a 25°C y el efecto de saturación en -

las reactancias.

$FPA > 0$, considera la resistencia del estator a 25°C y el efecto de saturación en las reactancias.

$FCX =$ factor de corrección de la reactancia total, asignando valores de $FCX > 1$, para el caso de ajuste de reactancias.

$FPR =$ factor de pérdidas rotacionales totales en (vatios), con valores

$FPR \leq 0$, caso donde $FPN \leq 0$

$FPR > 0$, caso donde $FPN > 0$

$TALT =$ variable de control del programa, con valores:

$TALT > 0$, el programa muestra los valores de las siguientes variables: $C11, DCC, REN, FP, PUTIL, C10, R1, R2', X1, XMAG$; donde:

$C11 =$ corriente de línea del estator en (Amp)
 $DCC =$ densidad de corriente calculada en (Amp/mm^2)
 $REN =$ rendimiento del motor
 $FP =$ factor de potencia
 $PUTIL =$ potencia útil de salida en (Hp)
 $C10 =$ corriente de vacío en (Amp)
 $R1 =$ resistencia del devanado del estator
 $R2' =$ resistencia del rotor referida al estator
 $X1 =$ reactancia del devanado primario
 $XMAG =$ reactancia magnetizante

TALT \leq 0; el diagrama no muestra los valores anteriores.

FRELL = Factor de relleno

DBD = densidad de flujo en los dientes asumida, cuyo valor no deberá sobrepasar de cierto valor máximo, en cuyo caso enviará un mensaje.

FORMATO DEL ARCHIVO DE DATOS "DTOR1"

El archivo "DTOR1", tiene el siguiente formato modelo:

FILA	VARIABLE	COLUMNA	FORMATO
	HRAN1	1-4	I4
1	NRAN2	5-8	I4
	M	9-12	I4
	Hpd	1-8	F8.3
	REND	9-16	F8.3
	DFP	17-24	F8.3
	TARRD	25-32	F8.3
2	TMAXD	33-40	F8.3
	IARRD	41-48	F8.3
	TND	49-56	F8.3
	RPM	57-64	F8.3
	F	65-72	F8.3
	VLL	1-8	F8.3
	P	9-16	F8.3
	Ybob	17-24	F8.3

	A	25-32	F8.3
3	A _{is}	33-40	F8.3
	CONE	41-48	F8.3
	CPOLAR	49-56	F8.3
	FRAN1	57-64	F8.3
	FRAN2	65-72	F8.3
	SFM	1-8	F8.3
	E1	9-16	F8.3
	FZONA	17-24	F8.3
	FR2	25-32	F8.3
4	FPV	33-40	F8.3
	FPD	41-48	F8.3
	FPN	49-56	F8.3
	IW	57-64	F8.3
	ID	65-72	F8.3
	NCAT	1-8	F8.3
	DCAT	9-16	F8.3
	HC	17-24	F8.3
	DCL	25-32	F8.3
	R13	33-40	F8.3
	K	41-48	F8.3
	LF	49-56	F8.3
	EPR2	57-64	F8.3
	EPX2	65-72	F8.3

	D1	1-8	F8.3
	D10	9-16	F8.3
	D11	17-24	F8.3
	D14	25-32	F8.3
6	W10	33-40	F8.3
	W11	41-48	F8.3
	W13	49-56	F8.3
	D15	57-64	F8.3
	WD	65-72	F8.3
	D2	1-8	F8.3
	D20	9-16	F8.3
	D21	17-24	F8.3
	D24	25-32	F8.3
7	W20	33-40	F8.3
	W21	41-48	F8.3
	W23	49-56	F8.3
	DCD	57-64	F8.3
	FCA	65-72	F8.3
	LB	1-8	F8.3
	SK	9-16	F8.3
	TMB	17-24	F8.3
	DC	25-32	F8.3
8	DI	33-40	F8.3
	SB	41-48	F8.3
	SA	49-56	F8.3
	FPA	57-64	F8.3
	FCX	65-72	F8.3

	FPR	1-8	F8.3
9	TALT	9-16	F8.3
	FRELL	17-24	F8.3
	DBD	25-32	F8.3

ANEXO C

ARCHIVO DE DATOS "DTOR2"

El archivo de datos "DTOR2", está conformado por las siguientes variables:

- V_{OV} = voltaje de línea a línea en vacío en (voltios)
- C_{OV} = corriente de línea de vacío normal (Amp).
- P_{OV} = potencia trifásica de vacío normal en (vatios)
- C_{VI} = corriente de línea en vacío ideal en (amp)
- P_{VI} = potencia trifásica en vacío ideal en (vatios)
- V_{TR} = voltaje de línea - línea a tensión reducida en (voltios)
- C_{TR} = corriente de línea a tensión reducida en (Amp)
- P_{TR} = potencia trifásica a tensión reducida en (vatios)
- C_{TP} = corriente de línea a tensión plena en (Amp)
- P_{TP} = potencia trifásica a tensión plena en (vatios)
- M = número de fases
- CONE = conexión eléctrica entre fases del estator con valores:
 - CONE \leq 0, para conexión delta o triángulo
 - CONE $>$ 0, conexión estrella
- P_{FV} = pérdidas por fricción más ventilación trifásica en (vatios)
- P_{FR} = pérdidas de hierro rotacionales trifásicas en (vatios)

R125 = resistencia por fase del estator a 25° C en (ohmios)
 EPX2 = factor de efecto pelicular sobre reactancia del rotor.

FORMATO DEL ARCHIVO DE DATOS "DTOR2"

El archivo "DTOR2", tiene el siguiente formato modelo:

FILA	VARIABLE	COLUMNA	FORMATO
1	VOV	1-8	F8.3
	COV	9-16	F8.3
	POV	17-24	F8.3
	CV1	25-32	F8.3
	PVI	33-40	F8.3
	VTR	41-48	F8.3
	CTR	49-56	F8.3
	PTR	57-64	F8.3
	M	1-8	F8.3
	CONE	9-16	F8.3
2	PFV	17-24	F8.3
	PFR	25-32	F8.3
	R125	33-40	F8.3
	EPX2	41-48	F8.3
	CTP	49-56	F8.3
	PTP	57-64	F8.3

ANEXO D

EJECUCION DEL PROGRAMA "TOR1" EN EL SISTEMA 4341

Cada usuario puede hacer uso de este programa, realizando los siguientes pasos:

1. Conexión lógica con el sistema, digitando USER ID y el PASSWORD asignado.
2. Con sistema listo para operar, digite TOR1 ENTER, luego el terminal responde con los siguientes mensajes:

- a. Creación del archivo de datos

Ecrite archivo con nombre que usted desee, debe ser tipo archivo (DATA).Ejemplo

```
XEDIT NPD DATA
```

donde:

NPD = nombre del programa datos

- b. Digite lo siguiente en la zona de comandos para copiar archivo de datos original y digitar sus datos encima del formato.

```
⇒ GET DTOR1 DATA
```

El archivo DTOR1, está dado en el Anexo B.

- c. Escriba sus datos propios y guarde el archivo

```
⇒ FILE NPD
```

3. Ejecute el programa TOR1, de la siguiente forma

```
⇒ TOR1 NPD
```

4. Los resultados quedaron grabados en la lectura de su máquina CMS, debe grabarlo en su minidisco para ser revisado posteriormente y realizar las correcciones de datos que se requieren.

Para grabarlo en su minidisco, debe digitar

```
⇒ RDR
```

```
⇒ XEDIT < NPR > < TIPO >
```

donde

NPR = nombre y tipo del archivo que va a editar -
para la revisión.

5. Para imprimir los datos que han sido revisados de
ben hacerlo con la opción.

⇒ PRINTCC < NPR > < TIPO >

ANEXO E

EJECUCION DEL PROGRAMA "TOR2" EN EL SISTEMA 4341

Cada usuario puede hacer uso de este programa, realizando los siguientes pasos:

1. Conexión lógica con el sistema, digitando USER ID y el PASSWORD asignado.
2. Con el sistema listo para operar, digite TOR2 ENTER , luego el terminal responde con los siguientes mensajes:
 - a. Creación del Archivo de Datos

Edite archivo con nombre que usted desee, debe ser tipo archivo < data > . Ejemplo.

```
XEDIT NPD DATA
```

donde:

NPD = nombre programa datos

- b. Digite lo siguiente en la zona de comandos para copiar archivo de datos original y digitar sus datos encima del formato.

⇒ GET DTOR2 DATA

El archivo DATOR2, tiene el formato modelo dado en el Anexo C.

- c. Escriba sus datos propios y guarde el archivo

⇒ FILE NPD

3. Ejecute el programa TOR2, de la siguiente forma

⇒ TOR2 NPD

4. Los resultados son grabados en la lectura de su máquina CMS. Debe grabarlo en su minidisco para ser revisados posteriormente y realizar las correcciones de datos que se requieren.

Para grabarlo en su minidisco, debe digitar:

⇒ RDR

⇒ XEDIT < NPR > < TIPO >

donde:

NPR = nombre y tipo del archivo que va a digitar para la revisión.

5. Para imprimir los datos, que han sido ya revisados, debe hacerlo en la opción.

⇒ PRINTCC < NPR > < TIPO >

BIBLIOGRAFIA

1. ALGER P., "INDUCTION MACHINES THEIR BEHAVIOR AND USES", GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS, 1970, 518 pag.
2. BRAYMER D.Y ROE A, "REWINDING AND CONNECTING ALTERNATING CURRENT MOTORS", MCGRAWHILL, NEW YORK, 1982, 355 pag.
3. BREGEL J.P., "PRACTICAS DE LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS", PARANINFO, MADRID, 1977, 322 pag.
4. KUHLMANN J., "DISEÑO DE APARATOS ELECTRICOS", CONTINENTAL, MEXICO, 1980, 559 pag.
5. LANGSDORF A., "TEORIA DE LAS MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNATA", MCGRAW-HILL, MEXICO, 1971, 701 pag.
6. LIWSCHITZ Y WHIPPLE C, "MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNATA", CONTINENTAL, MEXICO, 1976, 767 pag.
7. MATSCH L., "MAQUINAS ELECTROMAGNETICAS Y ELECTROMECANICAS", REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERO S.A. , MEXICO, 1974, 524 pag.
8. SOLOMANIUCK , "REBOBINADO DE MOTORES ASINCRONOS", G. MOSNTESCO, BARCELONA, 1961, 169 pag..
9. STILL A Y SISKIND C., "ELEMENTOS DE DISEÑO DE MAQUINAS ELECTRICAS", CONTINENTAL, MEXICO, 1972, 445 pag.
10. VEINOTT C., "COMPUTER AIDED DESING OF ELECTRIC MACHINERY";

- CAMBRIDGE, THE M.I.T. PRESS, 1972, 168 pag.
11. VEINOTT C., "THEORY AND DESIGN OF SMALL INDUCTION - MOTORS", MCGRAW-HILL, NEW YORK, 1959, 477 pag.
 12. "TEST PROCEDURE FOR POLYPHASE INDUCTION MOTOR AND GENERATORS", IEEE, Nº 112A, NEW-YORK, SEP.1964.
 13. NATIONAL ELECTRIC MANUFACTURES ASSOCIATION"(NEMA), EDITION,1969.

