

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

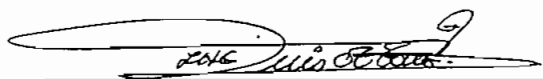
"PROGRAMA DIGITAL DIDACTICO PARA LA
SIMULACION DEL GENERADOR DE
RELUCTANCIA"

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO
DE INGENIERO EN SISTEMAS ELECTRICOS DE
POTENCIA

LUDWING ANTONIO G. RAMIREZ PAZMINO

QUITO, DICIEMBRE DE 1993

CERTIFICO QUE EL PRESENTE TRABAJO
FUE REALIZADO EN SU TOTALIDAD POR
EL SEÑOR LUDWING ANTONIO GUILLERMO
RAMIREZ PAZMIÑO BAJO MI DIRECCION.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "ING. LUIS A. TACO V.", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

ING. LUIS A. TACO V.

Director de Tesis

A MI PADRE, MADRE, HERMANOS
Y DE MANERA ESPECIAL A MI
ESPOSA Y MI HIJA ANDREA.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al Sr. Ing. Luis A. Taco V., Director de tesis, con cuya valiosa colaboración ha permitido realizar la elaboración del presente trabajo, de igual manera a todas aquellas personas que de forma directa o indirecta colaboraron en la misma.

I N D I C E

Página

INTRODUCCION

CAPITULO I: EL GENERADOR DE RELUCTANCIA Y LAS ECUACIONES QUE RIGEN SU COMPORTAMIENTO

1.1	INTRODUCCION.....	1
1.2	ECUACIONES DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA.....	4
1.2.1	Ecuación del Torque Electromagnético.....	9
1.2.2	Ecuación del Torque Electromecánico.....	11
1.2.3	Efecto de la Reluctancia en el Generador.....	11
1.3	ECUACIONES DEL GENERADOR EXPRESADAS EN EL SISTEMA $qd0$..	13
1.3.1	Ecuaciones de la máquina en ejes de referencia $qd0$ con respecto a los ejes abc.....	15
1.4	ECUACIONES DEL MODELO MATEMATICO.....	17
1.5	ECUACIONES DEL MODELO EN POR UNIDAD.....	17

CAPITULO II : ANALISIS DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO

	INTRODUCCION.....	18
2.1	GENERADOR EN CORTOCIRCUITO.....	20
2.2	GENERADOR EN VACIO.....	22
2.3	GENERADOR CON CARGA.....	25
2.3.1	Carga Resistiva.....	26
2.3.2	Carga Inductiva.....	27
2.3.3	Carga Capacitiva.....	29
2.3.4	Carga RL, RC,RLC,CL.....	32
2.3.4.1	Carga RL.....	32

2.3.4.2	Carga RC.....	35
2.3.4.3	Carga RLC.....	37
2.3.4.4	Carga CL.....	40
2.4	REGULACION DE VOLTAJE.....	43
2.5	ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA COMO MOTOR.....	44

CAPITULO III: SIMULACION DIGITAL

3.1	INTRODUCCION.....	46
3.2	ECUACIONES PARA LA SIMULACION Y RESOLUCION DIGITAL.....	49
3.3	LISTADO DEL PROGRAMA.....	50

CAPITULO IV: PRUEBAS DE LABORATORIO

4.1	MEDICION DE PARAMETROS.....	113
4.1.1	Medición de inductancias de campo y fases.....	113
4.1.2	Medición del acoplamiento mutuo L_o	118
4.2	CURVA DE MAGNETIZACION.....	121
4.2.1	Análisis de la curva de magnetización.....	122
4.3	EN VACIO.....	125
4.3.1	Característica de Circuito Abierto.....	125
4.4	CON CARGA.....	127
4.4.1	Carga Resistiva.....	128
4.4.2	Carga Inductiva.....	132
4.4.3	Carga Capacitiva.....	136
4.4.4	Carga Resistiva Inductiva.....	140
4.4.5	Carga Resistiva Capacitiva.....	144
4.4.6	Carga Inductiva Capacitiva.....	148
4.4.7	Carga Resistiva Inductiva Capacitiva.....	155
4.5	CORTOCIRCUITO.....	159
4.5.1	Característica de Cortocircuito.....	159

4.5.2	Inpedancia Sincrónica no Saturada.....	161
4.5.3	Relación de Cortocircuito.....	162
4.5.4	Efecto de la RCC en el Generador.....	162
4.6	CARACTERISTICA DE VELOCIDAD.....	163
4.7	GENERADOR DE RELUCTANCIA COMO MOTOR.....	165

CAPITULO V: ANALISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS

5.1	INTRODUCCION.....	166
5.2	ANALISIS DE RESULTADOS CON RESPECTO AL GENERADOR DE RELUCTANCIA DE LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS.....	167
5.3	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....	246
5.3.1	Comentarios.....	246
5.3.2	Conclusiones.....	247
5.3.3	Recomendaciones.....	250

APENDICE A: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

APENDICE B: SOLUCION A LA ECUACION DIFERENCIAL DEL TIPO:

$$y'(\theta) + A y(\theta) = B \sin n\theta$$

APENDICE C: SOLUCION A LA ECUACION DIRERENCIAL DEL TIPO:

$$y''(\theta) + A y'(\theta) + B y(\theta) = C1 \cos n\theta$$

APENDICE D: CALCULO DEL VALOR RMS DE LA ECUACION DEL TIPO:

$$Y = a*(B \sin n\theta \pm C \cos n\theta)$$

APENDICE E: CALCULO DEL VALOR RMS DE LA ECUACION DEL TIPO:

$$Y = A'*(B' \sin n\theta - C' \cos n\theta) + A''*(B'' \sin \theta + C'' \cos \theta)$$

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C I O N

IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION

En base a la máquina construida en el laboratorio de máquinas eléctricas y a las pruebas para obtener sus parámetros y características, el presente trabajo contempla la simulación de dicha máquina a fin de probar la bondad del modelo mediante pruebas de laboratorio.

La presencia del entrehierro en la máquina de Reluctancia da lugar a una variación de las formas de onda de voltaje, corriente y torque debido a que el rotor tiende a situarse en la posición de mínima reluctancia respecto a la onda de flujo que gira en el entrehierro a la velocidad de sincronismo.

Los resultados serán correctos, con una gran aproximación si la dispersión de flujo es pequeña.

El hecho de trabajar en laboratorio es muy importante puesto que se dispone físicamente de la máquina, pero para el caso de hacer alguna variación en el ángulo del rotor, para variar así la reluctancia se necesita estar con la herramienta adecuada, y para cada caso sobre la máquina, pero con la implementación de la simulación se observará de una manera más eficiente y rápida el fenómeno eléctrico.

El diseño de máquinas eléctricas es normalmente un problema que resulta ser en ocasiones muy complicado, por lo que amerita comparar con la simulación digital, pues conociendo los datos o valores nominales como las dimensiones físicas de la máquina dará lugar a observar el comportamiento del generador.

CONSIDERACIONES TECNICAS.

El análisis de la máquina se realiza en los ejes $qd0$, pero para mayor comprensión y estudio de la máquina se realiza la obtención de las ecuaciones en verdaderos valores, con el fin de tener una idea más clara del comportamiento del prototipo.

En la realización del trabajo se toma las siguientes restricciones:

- FMM sinusoidal
- Circuito magnético lineal
- La variación de la resistencia debido a la temperatura será despreciable.
- Distribución simétrica de los devanados del estator, que establecen una distribución sinusoidal de las ondas de fuerza magnetomotriz y en el entrehierro, de tal manera que se desprecian los contenidos armónicos.

METODOLOGIA.

1.- Para el trabajo se realiza tomando como modelo el generador de reluctancia de dos polos salientes.

En los ejes $qd0$ o transformadas de PARK, los ejes rotan a velocidad angular, eléctrica del rotor, la referencia se mueve con el rotor, las variables del rotor no sufren cambio alguno, y como se mira el comportamiento en los ejes $qd0$ se puede considerar que la transformación se hace de un sistema trifásico a un bifásico las variaciones del eje cero no están asociados con la transformación y existen en la misma referencia que se produce.

2.- Para el desarrollo del programa se usa el paquete MATLAB, el que por su versatilidad facilita la resolución de las ecuaciones del modelo matemático, como de la visualización gráfica.

ALCANCE

Se realiza el estudio en base a:

- 1.- Cuatro rotores, son sus respectivas bobinas
- 2.- La variación de la posición del rotor
- 3.- Obtención de curvas de voltaje, corriente, torque y potencia, tanto en vacío, cortocircuito y con carga.
- 4.- Los resultados se presentan en pantalla como impresora.
- 5.- Comparación con resultados del generador de reluctancia del laboratorio.

CAPITULO I

EL GENERADOR DE RELUCTANCIA Y LAS ECUACIONES QUE RIGEN SU COMPORTAMIENTO

1.1 INTRODUCCION.- El prototipo de generador de reluctancia de laboratorio de máquinas eléctricas de la facultad de ingeniería eléctrica consta de cuatro grupos estator rotor de doble saliencia, los rotores sujetos a un eje no poseen bobinados como otros tipos de máquinas y están desfasados unos de otros de acuerdo a la figura 1.1. En la estructura del estator se tiene el bobinado de campo en forma exterior y el de armadura en forma interior; por la forma típica del rotor es muy interesante el estudio de este tipo de generador.

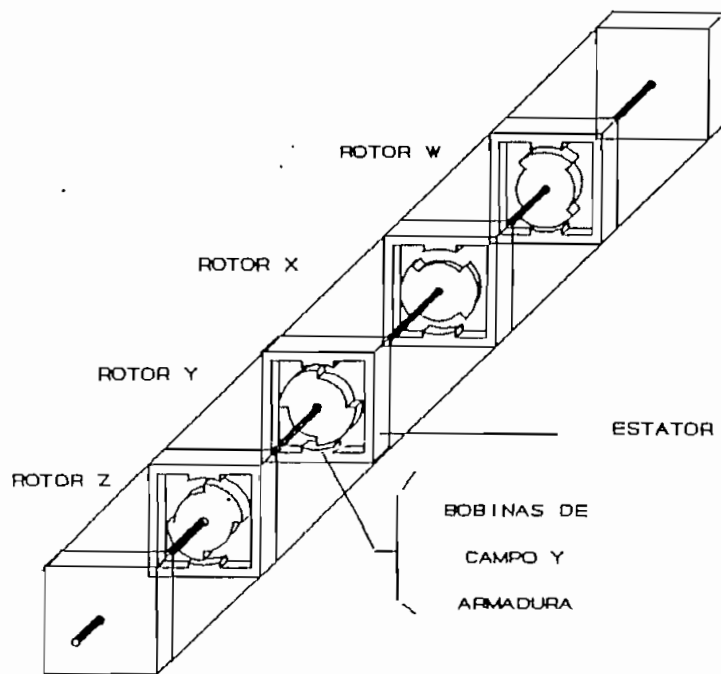
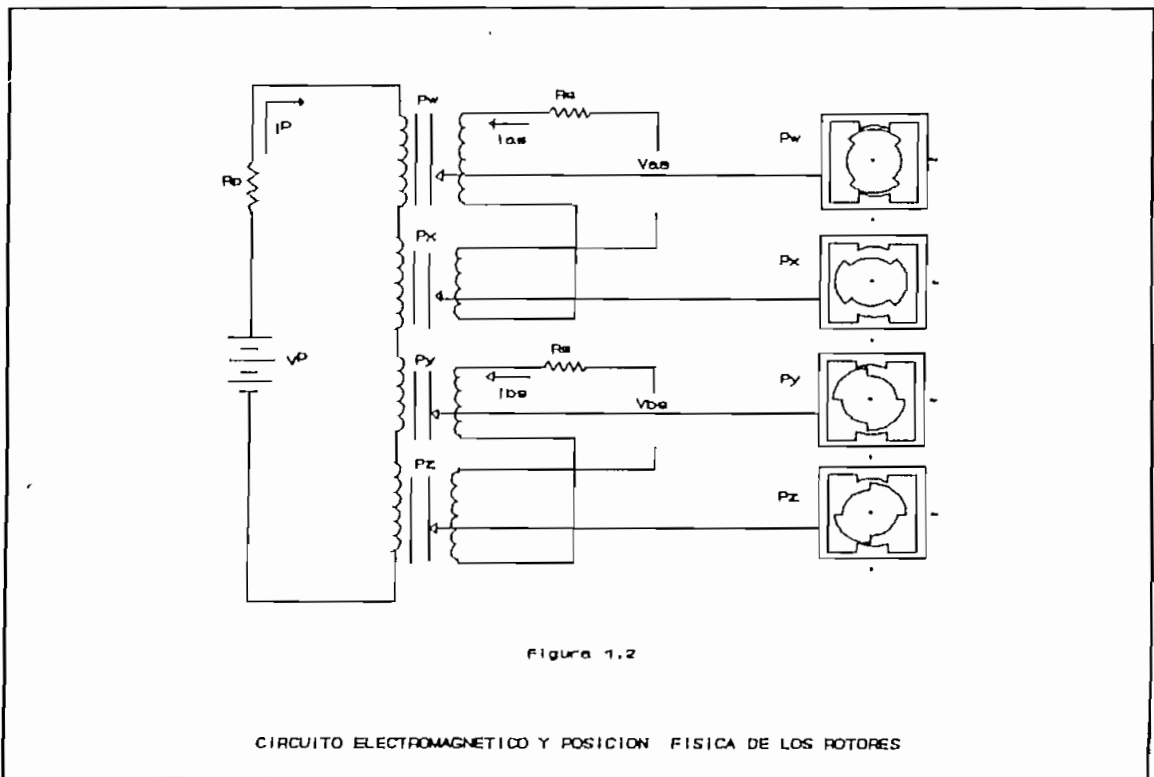


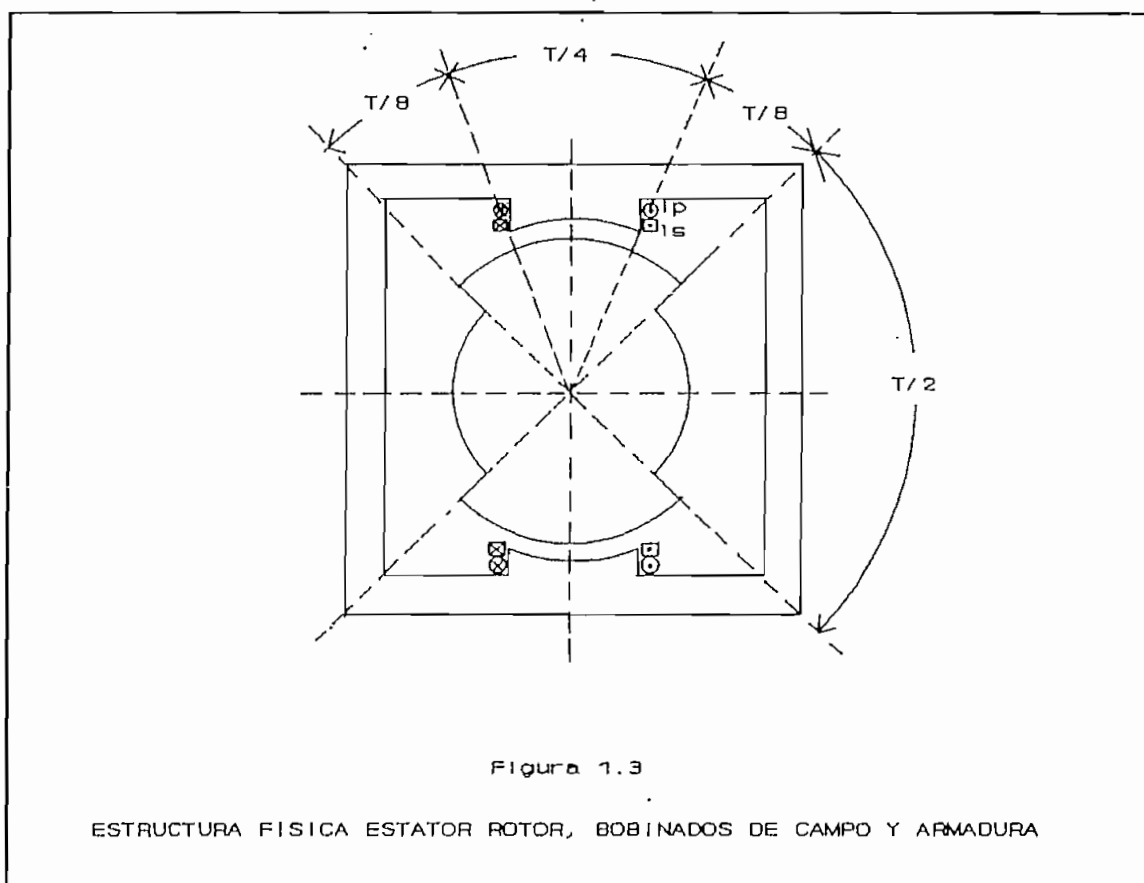
Figura 1.1

ESTRUCTURA FISICA DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA

El generador de reluctancia consta de dos grupos estator rotor para cada fase por lo que el análisis es de un generador bifásico, a cada uno de los grupos estator rotor se los identifica por las letras w,x,y,z, la interconexión de estos da lugar a la máquina sincrónica de rotor cilíndrico bifásica y de cuatro polos.

Los grupos estator rotor "w,x" constituyen la fase "a" y los grupos "y,z" la fase "b", los rotores tienen una posición relativa uno de otro como se puede observar en la figura 1.2, entre los grupos w-x y y-z existe un desfase de 180 grados eléctricos o de 90 grados mecánicos, esto depende de la posición física de los rotores, entre las fases a y b existen un desplazamiento de 45° mecánicos o de 90° eléctricos, en la figura 1.3 se puede observar la envolvente del grupo estator rotor.





Este tipo de máquina genera voltaje por el aprovechamiento del flujo magnético que se produce en el entrehierro por efecto del rotor y el estator, dependiendo del tipo de rotor los voltajes generados variarán.

Para un circuito magnético de sección uniforme y de naturaleza homogénea, de sección A (m^2) y de entrehierro g (m), la reluctancia se define como:

$$R = g / (\mu * A)$$

Donde

μ es la permeabilidad propia del material (weber/amper-vuelta metro)

Por lo que la reluctancia varía de acuerdo a las dimensiones, para el caso del generador de reluctancia influye las dimensiones del rotor y su separación entre rotor y estator.

1.2 ECUACIONES DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA [5]

Un circuito muy aproximado del generador de reluctancia se presenta en la figura 1.4, las ecuaciones balanceadas en forma matricial se escriben a continuación:

$$[v] = [R] [i] + \frac{d[\lambda]}{dt} \quad (1.1)$$

donde es la matriz de concatenaciones de flujo.

El flujo está definido por:

$$[\lambda] = [L] [i] \quad (1.2)$$

Para el generador bifásico los vectores voltaje y corriente son:

$$\begin{aligned} [v] &= [v^p \ v_a^s \ v_b^s]^t \\ [i] &= [i^p \ i_a^s \ i_b^s]^t \end{aligned} \quad (1.3)$$

Donde t es la traspuesta de los vectores voltaje y corriente

Las matrices inductancia y resistencia son 3x3.

Los superíndices p,s corresponden a las cantidades asociadas con el primario (circuito de campo), y secundario (circuito de armadura), respectivamente.

La resistencia, permeancia e inductancia del generador son elementos asociados con la variable reluctancia y con los elementos w,x,y,z, de las bobinas del generador.

Planteando las ecuaciones voltamperimétricas al circuito de la figura 1.4, considerando el acoplamiento magnético entre cada una de las fases (a y b) con el primario se tiene:

$$v^p = (R_w^p + R_x^p + R_y^p + R_z^p) i^p + \sum_k \frac{d}{dt} [L_k^{pp}] i^p + \frac{d}{dt} (L_w^{ps} - L_x^{ps}) i_a^s + \frac{d}{dt} (L_y^{ps} - L_z^{ps}) i_b^s \quad (1.4)$$

$$V_a^s = (R_w^s + R_x^s) i_a^s + \frac{d}{dt} [(L_x^{ss} + L_w^{ss}) i_a^s] + \frac{d}{dt} [(L_w^{ps} - L_x^{ps}) i^p] \quad (1.5)$$

$$V_b^s = (R_y^s + R_z^s) i_b^s + \frac{d}{dt} (L_y^{ss} + L_z^{ss}) i_b^s + \frac{d}{dt} (L_y^{ps} - L_z^{ps}) i^p \quad (1.6)$$

Se puede observar que no existe acoplamiento magnético entre las fases "a" y "b", debido a que están físicamente separadas.

Por simplicidad se definen las siguientes ecuaciones:

$$R^p = R_w^p + R_x^p + R_y^p + R_z^p \quad (1.7)$$

$$L^{pp} = L_w^{pp} + L_x^{pp} + L_y^{pp} + L_z^{pp} \quad (1.8)$$

$$L_a^{pe} = L_w^{pe} - L_x^{pe} \quad (1.9)$$

$$L_b^{pe} = L_y^{pe} - L_z^{pe} \quad (1.10)$$

$$R^e = R_w^e + R_x^e = R_y^e + R_z^e \quad (1.11)$$

$$L_a^{ee} = L_w^{ee} + L_z^{ee} \quad (1.12)$$

$$L_b^{ee} = L_y^{ee} + L_x^{ee} \quad (1.13)$$

Reemplazando las ecuaciones 1.7 a 1.13 en 1.4 a 1.6 se tiene:

$$V^p = R^p i^p + \frac{d}{dt} (L^{pp} i^p) + \frac{d}{dt} (L_a^{ps} i_a^s) + \frac{d}{dt} (L_b^{ps} i_b^s) \quad (1.14)$$

$$V_a^s = R^s i_a^s + \frac{d}{dt} (L_a^{ps} i^p) + \frac{d}{dt} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (1.15)$$

$$V_b^s = R^s i_b^s + \frac{d}{dt} (L_b^{ps} i^p) + \frac{d}{dt} (L_b^{ss} i_b^s) \quad (1.16)$$

Pero $\theta = \omega * t$, reemplazando en 1.14 a 1.16 se tiene:

$$v^p = R^p i^p + w \frac{d}{d\theta} (L^{pp} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i_a^s) + w \frac{d}{d\theta} (L_b^{ps} i_b^s) \quad (1.17)$$

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (1.18)$$

$$v_b^s = R^s i_b^s + w \frac{d}{d\theta} (L_b^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_b^{ss} i_b^s) \quad (1.19)$$

Por lo que la matriz de inductancias y resistencias de las ecuaciones 1.17 a 1.19 es:

$$[L] = \begin{bmatrix} L^{pp} & L_a^{ps} & L_b^{ps} \\ L_a^{ps} & L_a^{ss} & 0 \\ L_b^{ps} & 0 & L_b^{ss} \end{bmatrix} \quad [R] = \begin{bmatrix} R^p & 0 & 0 \\ 0 & R^s & 0 \\ 0 & 0 & R^s \end{bmatrix}$$

donde:

v^p Voltaje de campo

v_a^s Voltaje de la fase a

v_b^s Voltaje de la fase b

$i^p = I_p$ Corriente de campo

i_a^s Corriente de la fase a

i_b^s Corriente de la fase b

R^p Resistencia total de campo

R_w^p Resistencia del bobinado de campo del estator w

R_x^p Resistencia del bobinado de campo del estator x

R_y^p Resistencia del bobinado de campo del estator y

R_z^p Resistencia del bobinado de campo del estator z

R^s Resistencia total de armadura

R_w^s Resistencia del bobinado de armadura del estator w

R_x^s Resistencia del bobinado de armadura del estator x

R_y^e Resistencia del bobinado de armadura del estator y
 R_z^e Resistencia del bobinado de armadura del estator z
 L_{PP} Inductancia total del bobinado de campo
 L_{wPP} Inductancia propia del bobinado de campo del estator w
 L_{xPP} Inductancia propia del bobinado de campo del estator x
 L_{yPP} Inductancia propia del bobinado de campo del estator y
 L_{zPP} Inductancia propia del bobinado de campo del estator z
 L_{aPe} Inductancia mutua entre campo y armadura de la fase a
 L_{bPe} Inductancia mutua entre campo y armadura de la fase b
 L_{wPe} Inductancia mutua entre campo y armadura del estator w
 L_{xPe} Inductancia mutua entre campo y armadura del estator x
 L_{yPe} Inductancia mutua entre campo y armadura del estator y
 L_{zPe} Inductancia mutua entre campo y armadura del estator z
 L_{aee} Inductancia propia total de armadura de la fase a
 L_{bee} Inductancia propia total de armadura de la fase b
 L_{wee} Inductancia propia del bobinado de armadura del estator w
 L_{xee} Inductancia propia del bobinado de armadura del estator x
 L_{yee} Inductancia propia del bobinado de armadura del estator y
 L_{zee} Inductancia propia del bobinado de armadura del estator z

Como se observa en la matriz de inductancias L el generador tiene una inductancia primaria o de campo L_{PP} , una inductancia secundaria o de armadura L_{aee} y L_{bee} , una inductancia mutua entre primario y secundario L_{aPe} , L_{bPe} pero no existe acoplamiento entre las fases a, b.

Debido a esto:

$L_{aee} = L_{bee}$ son términos constantes

L_{PP} es término constante

$L_{aP\theta}$ es función de la posición del rotor y es cosenoidal

$L_{bP\theta}$ es función de la posición del rotor y es senoidal

Por lo que se tiene:

$$L_{bP\theta} = L_{aP\theta}(\theta - \pi/2)$$

Lo que quiere decir que de $L_{aP\theta}$ y $L_{bP\theta}$ depende el voltaje generado como también de las inductancias mutuas; éstas son de tipo trapezoidal como se puede ver en la figura 1.4.

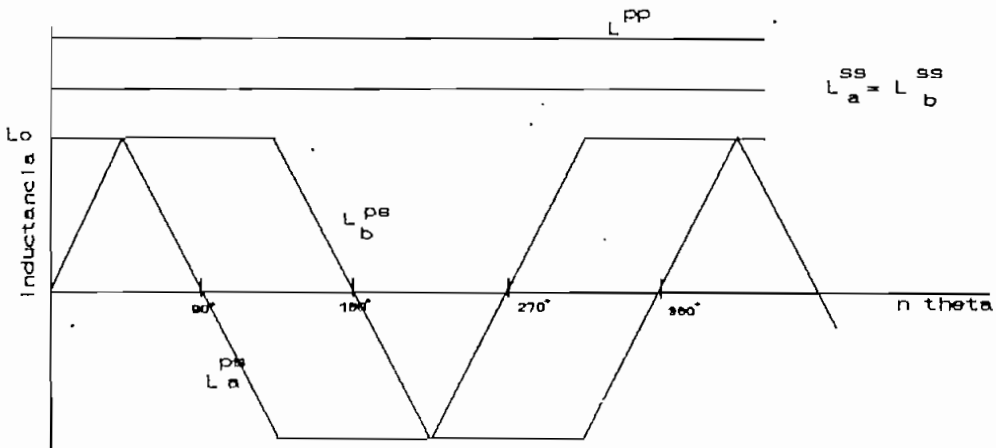


Figura 1.4

CARACTERISTICA DE LA INDUCTANCIA
EN FUNCION DE LA POSICION DEL ROTOR

1.2.1 ECUACION DEL TORQUE ELECTROMAGNETICO [7]

La conversión de energía resulta de un proceso de transmisión mecánica por medio de un acoplamiento tanto mecánico como magnético existente en la máquina.

Debido a que la posición del rotor varía, la inductancia y las concatenaciones de flujo en la máquina también lo hacen, esto hace que cambie el torque, debido a la energía magnética que adquieren los bobinados, y la energía propia de las inductancias de la máquina.

La energía en los bobinados por lo tanto estará íntimamente ligada con la corriente y la variación de la inductancia por lo que variará con respecto a la posición del rotor.

La ecuación del torque se presenta a continuación:

$$T = -\frac{\partial W_m}{\partial \theta} + i \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \quad (1.20)$$

donde W_m es la energía magnética debido a los bobinados de la máquina y es igual a:

$$W_m = \frac{1}{2} i L^2 \quad (1.21)$$

Ψ son las concatenaciones de flujo que es igual a:

$$\Psi = i L \quad (1.22)$$

donde:

θ es el desplazamiento angular del rotor con respecto al estator.

L es la inductancia en función de la variación del tiempo o de la posición del rotor.

reemplazando 1.22 y 1.21 en 1.20 se tiene:

$$T = -\frac{1}{2} \frac{\partial i^2 L}{\partial \theta} + \frac{\partial i^2 L}{\partial \theta} \quad (1.23)$$

obteniendo las derivadas parciales de 1.23 se obtiene:

$$T = -\frac{1}{2} (2 i L \frac{\partial i}{\partial \theta} + i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta}) + i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta} + L i \frac{\partial i}{\partial \theta} \quad (1.24)$$

simplificando:

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (1.25)$$

En la ecuación 1.25 se observa que el torque depende exclusivamente de la variación de la inductancia con respecto a la posición del rotor.

Multiplicando y dividiendo por dt en 1.25 y ordenando se tiene:

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial t} * \frac{1}{\frac{\partial \theta}{\partial t}} \quad (1.26)$$

pero $d\theta/dt = 2\pi W_n$

donde W_n es la velocidad del rotor en rev/seg.

sustituyendo en 1.26 se obtiene:

$$T = \frac{1}{4 \pi W_n} i^2 \frac{\partial L}{\partial t} \quad (1.27)$$

En esta ecuación se ve la influencia de la variación de la inductancia con respecto al tiempo, la dependencia de la velocidad del rotor, la influencia en el torque de la corriente de los bobinados.

1.2.2 ECUACION DEL TORQUE ELECTROMECHANICO

En base al comportamiento electromecánico de un generador de inducción para el generador de reluctancia se tiene:

$$T_e + T_m = (Jp + D)\omega_r \quad (1.27a)$$

donde:

J es el momento de inercia de la máquina

D coeficiente angular de fricción viscosa

$Jp\omega_r$ torque de aceleración

$D\omega_r$ torque de amortiguamiento mecánico

T_m torque mecánico de entrada

T_e torque electromagnético

1.2.3 EFECTO DE LA RELUCTANCIA EN EL GENERADOR [5]

La reluctancia está directamente relacionada con el número de vueltas que tenga los bobinados de campo y de armadura, e inversamente a la inductancia de estos, lo que es:

$$R = N^2 / L$$

la permeancia es el inverso de la reluctancia por lo que:

$$P = 1/R = L/N^2$$

Debido a las diferentes inductancias que posee el generador de reluctancia y a sus distintos rotores se tiene en función de la permeancia:

$$L_{kkPP}(\theta) = N_P^2 [P_k(\theta) + P_{1k}]$$

$$L_{kP^e}(\theta) = L_{k^eP}(\theta) = N_P N^e P_k(\theta)$$

$$L_{k^ee}(\theta) = N_S^2 [P_k(\theta) + P_{1k}]$$

donde el subíndice k tiene por valor w,x,y,z, es decir de estas ecuaciones se genera las inductancias para cada uno de los grupos estator rotor, que son función de la posición del rotor.

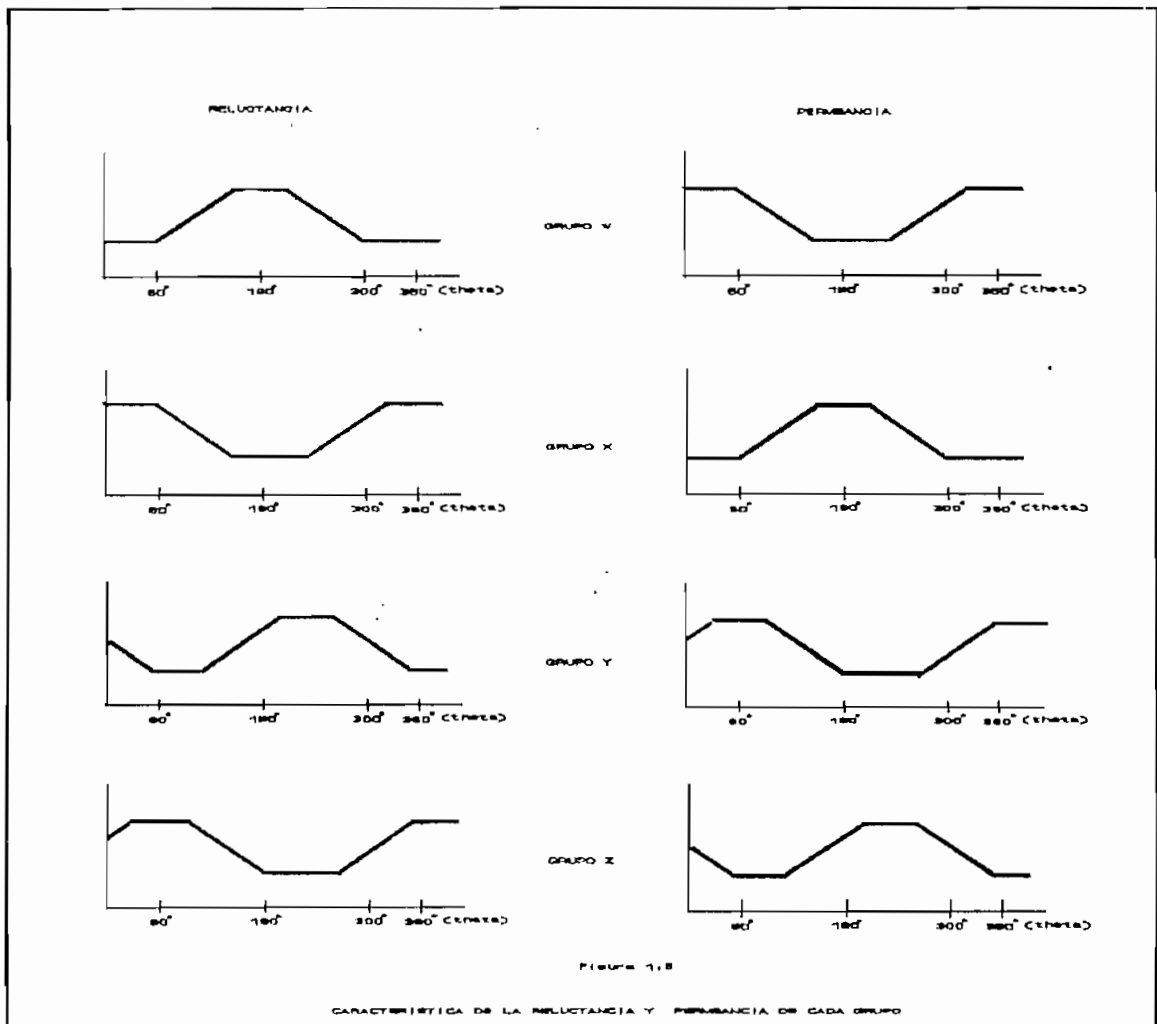
Este efecto da lugar a que la permeancia este relacionada entre sí por efecto de la variación del ángulo del rotor como se puede ver en las siguientes ecuaciones:

$$P_x(\theta) = P_w(\theta - \pi)$$

$$P_y(\theta) = P_w(\theta - \pi/2)$$

$$P_z(\theta) = P_y(\theta - \pi)$$

Debido a que las inductancias tienen una variación del tipo trapezoidal y están íntimamente relacionados con la permeancia se presenta a continuación la variación de la permeancia y la reluctancia para cada uno de los grupos rotores.

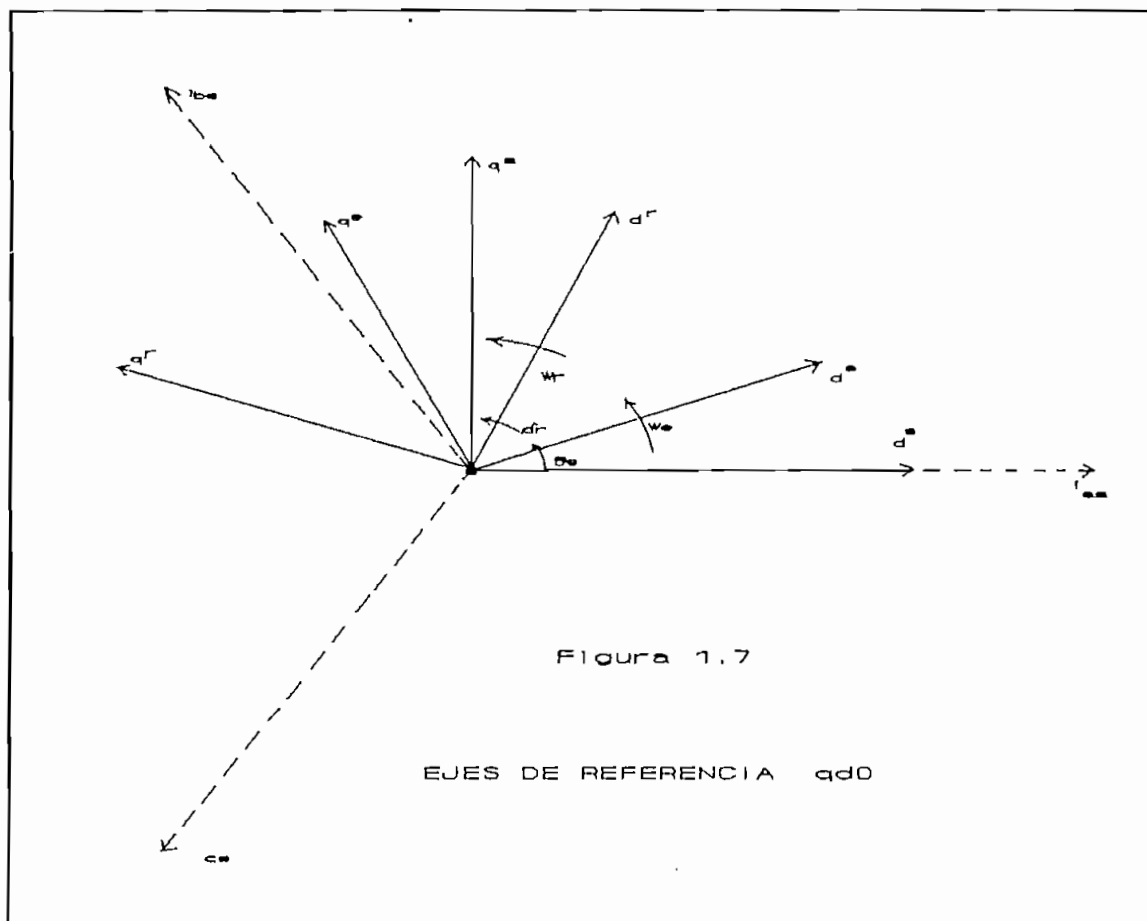


1.3 ECUACIONES DEL GENERADOR EXPRESADAS EN EL SISTEMA $qd0$ [8]

El desarrollo de las ecuaciones expresadas en el sistema de ejes $qd0$ se lo hace en base a una máquina trifásica de 2 polos de rotor bobinado.

El análisis es realizado cortocircuitando los bobinados en el rotor tanto en el eje directo como en el de cuadratura, se lo realiza tomando al rotor fijo, y en por unidad por medio de las transformadas de Park's.

En la figura 1.7 se observa la disposición de los ejes de referencia y las corrientes de cada fase:



Analizando el gráfico y realizando las transformaciones correspondientes se tiene:

$$v_{ds}^r = \frac{p}{w_b} \psi_{ds}^r - \frac{p\theta_r}{w_b} \psi_{qs}^r + r_s i_{ds}^r \quad (1.28)$$

$$v_{qs}^r = \frac{p}{w_b} \psi_{qs}^r - \frac{p\theta_r}{w_b} \psi_{ds}^r + r_s i_{qs}^r \quad (1.29)$$

$$0 = \frac{p}{w_b} \psi_{dr}^{r'} + r_{dr}' i_{dr}^{r'} \quad (1.30)$$

$$0 = \frac{p}{w_b} \psi_{qr}^{r'} + r_{qr}' i_{qr}^{r'} \quad (1.31)$$

donde:

$$\psi_{qs}^r = X_{ls} i_{qs}^r + X_{\alpha q} (i_{qs}^r + i_{qr}^{r'}) \quad (1.32)$$

$$\psi_{ds}^r = X_{ls} i_{ds}^r + X_{\alpha d} (i_{ds}^r + i_{dr}^{r'}) \quad (1.33)$$

$$\psi_{dr}^{r'} = X_{ldr}' i_{dr}^{r'} + X_{\alpha d} (i_{ds}^r + i_{dr}^{r'}) \quad (1.34)$$

$$\psi_{qr}^{r'} = X_{lqr}' i_{qr}^{r'} + X_{\alpha q} (i_{qs}^r + i_{qr}^{r'}) \quad (1.35)$$

El superíndice r denota las variables que tiene como referencia el rotor y las (primas) denota las cantidades del rotor referidas a los bobinados del estator, p es el operador d/dt , r y x_l denota la resistencia y la reactancia de la máquina.

La posición angular del rotor esta dada por θ_r de donde $w_r = p\theta_r$, que es la velocidad angular eléctrica del rotor

w_b es la frecuencia base de trabajo.

$X_{\alpha d}$ y $X_{\alpha q}$ son las reactancias de magnetización de eje directo y

de cuadratura respectivamente.

El torque electromagnético en por unidad es:

$$T = X_{ad} i_{dr} i_{qs} - X_{aq} i_{qr} i_{ds} + (X_{ad} - X_{aq}) i_{ds} i_{qs} \quad (1.36)$$

reemplazando 1.34, 1.35 en 1.30 y 1.31 se obtiene:

$$\frac{p}{w_b} i_{dr}' = -\frac{r_{dr}'}{X_{dr}'} i_{dr}' - \frac{p}{w_b} \left(\frac{X_{ad}}{X_{dr}'} i_{ds} \right) \quad (1.37)$$

$$\frac{p}{w_b} i_{qr}' = -\frac{r_{qr}'}{X_{qr}'} i_{qr}' - \frac{p}{w_b} \left(\frac{X_{aq}}{X_{qr}'} i_{qs} \right) \quad (1.38)$$

reemplazando 1.32, 1.33, 1.34 en 1.28 y 1.29 se obtiene:

$$v_{ds}^r = r_s i_{ds}^r + \frac{p}{w_b} (X_{ds} i_{ds}^r + X_{ad} i_{dr}') - \frac{w_r}{w_b} (X_{qs} i_{qs}^r + X_{aq} i_{qr}') \quad (1.39)$$

$$v_{qs}^r = r_s i_{qs}^r + \frac{p}{w_b} (X_{qs} i_{qs}^r + X_{aq} i_{qr}') + \frac{w_r}{w_b} (X_{ds} i_{ds}^r + X_{ad} i_{dr}') \quad (1.40)$$

Las cuales son ecuaciones mucho más fáciles de trabajar .

1.3.1 ECUACIONES DE LA MAQUINA EN EJES DE REFERENCIA qd0 CON RESPECTO A LOS EJES abc [1]

Por medio de las transformadas de Park's se pasa de un sistema de referencia abc al sistema qd0, con el fin de realizar un análisis más fácil y convertirlo a un sistema bifásico esto se lo realiza mediante:

$$f_{qd0} = K_s f_{abc}$$

donde

$$(f_{dq0e})^t = [f_{qs} \quad f_{ds} \quad f_{0s}]$$

$$(f_{abce})^t = [f_{as} \quad f_{bs} \quad f_{cs}]$$

$$y \quad K_s = 2/3 \quad \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta-2\pi/3) & \cos(\theta+2\pi/3) \\ \sin\theta & \sin(\theta-2\pi/3) & \sin(\theta+2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

donde:

$$\theta = \int_0^t \omega(\xi) d\xi + \theta(0)$$

ξ representa la variable de integración

$$y \quad (K_s)^{-1} = 2/3 \quad \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 1 \\ \cos(\theta-2\pi/3) & \sin(\theta-2\pi/3) & 1 \\ \cos(\theta+2\pi/3) & \sin(\theta+2\pi/3) & 1 \end{bmatrix}$$

La función f representa voltaje, corriente o concatenaciones de flujo; t denota la traspuesta de la matriz, el subíndice s indica las variables o parámetros asociados con el circuito estacionario. Aplicando la transformaciones de Park's se obtiene:

$$v_{qs}^r = \frac{2}{3} [v_{as} \cos w_r t + v_{bs} \cos(w_r t - \frac{2\pi}{3}) + v_{cs} \cos(w_r t + \frac{2\pi}{3})] \quad 1.41$$

$$v_{ds}^r = \frac{2}{3} [v_{as} \sin w_r t + v_{bs} \sin(w_r t - \frac{2\pi}{3}) + v_{cs} \sin(w_r t + \frac{2\pi}{3})] \quad 1.42$$

$$v_{0s} = \frac{1}{3} (v_{as} + v_{bs} + v_{cs}) \quad 1.43$$

Debido a que los bobinados del estator están distribuidos simétricamente en el sistema trifásico $v_{0s} = 0$.

1.4 ECUACIONES DEL MODELO MATEMATICO

Las ecuaciones desarrolladas en los temas anteriores son las ecuaciones básicas para el análisis del generador de reluctancia, Todas estas ecuaciones serán tratadas y desarrolladas en el capítulo II, puesto que se parte de la ecuación general del generador de reluctancia dada por la ecuación

$$v_a = I_p \omega \frac{d}{d\theta} L_a P(\theta) + r_a i_a + \omega L_a \frac{d}{d\theta} i_a$$

que se obtiene de la figura 1.2.

1.5 ECUACIONES DEL MODELO EN POR UNIDAD

El trabajar con el sistema en por unidad es una gran ventaja cuando existe ecuaciones muy complicadas, cada magnitud se expresa con relación a otra tomada como base.

Las bases son por lo general los datos de placa del grupo motor generador como son, potencia, voltaje, frecuencia, por lo que:

S_b = potencia aparente base por fase

V_b = voltaje base por fase

f_b = frecuencia base

de esto se tiene:

$$I_b = S_b / V_b \text{ (A)}$$

$$Z_b = V_b / I_b \text{ (\Omega)}$$

$$\omega_b = 2\pi f_b \text{ (rad/seg)}$$

$$L_b = Z_b / \omega_b \text{ (H)}$$

$$L_b = L_b I_b$$

para pasar a un sistema en por unidad se utiliza la siguiente relación general, la cual puede usar cualquier valor base o real de la máquina

$$\text{Valor en p.u.} = \frac{\text{Valor real}}{\text{Valor base}}$$

CAPITULO II

ANALISIS DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO

En este capítulo se estudia los diferentes condicionamientos del generador de reluctancia para establecer las ecuaciones tanto de voltaje, corriente y torque, sea en cortocircuito, vacío o con carga, obteniéndose las ecuaciones para las fases "a" y "b".

La facilidad y versatilidad del programa y de las ecuaciones analizadas en 1.2 y 1.2.1, da lugar a trabajar con estas ecuaciones, es decir no trabajar en los ejes $qd0$ y más aún en por unidad.

La inductancia de acoplamiento mutuo entre campo y armadura L_{aF} y L_{bF} como se menciona en 1.2 varía de acuerdo a la posición del rotor y aproximando a una forma trapezoidal, realizando la descomposición en series de Fourier se tiene:

$$L_a^{p\phi}(\theta) = \frac{8L_o}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} * (\cos \frac{\pi n}{4} - \cos \frac{3\pi n}{4}) * \cos n\theta \quad [5]$$

de manera similar para $L_b^{p\phi}$ se tiene:

$$L_b^{p\phi}(\theta) = \frac{8L_o}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} * (\cos \frac{\pi n}{4} - \cos \frac{3\pi n}{4}) * \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})$$

Como se observa las ecuaciones son de tipo cosenoidal; n da una mayor aproximación de los resultados, analizando la variación de n , para un n mayor o igual a 30 prácticamente la inductancia se hace cero, dependiendo de n se puede realizar un análisis de los armónicos más importantes que influye en las ecuaciones del generador, esto no se lo realiza puesto que está fuera del alcance del presente trabajo.

La influencia de $L_b^{p\phi}$ de estar desfasado $\pi/2$ con respecto a $L_a^{p\phi}$

da lugar a que los voltajes y corrientes de las fases también lo sean como se observa en las ecuaciones para cada tipo de condición que se analiza a continuación.

L_0 es la inductancia máxima de acoplamiento entre campo y armadura, por lo que el generador depende exclusivamente de está debido a que el resto de términos varían con n ó θ .

El término $\cos(\pi n/4)$ y $\cos(3\pi n/4)$ corresponde al desfazamiento existente entre los rotores "x-y" y "x-z" respectivamente como se observa en la figura 2.1.

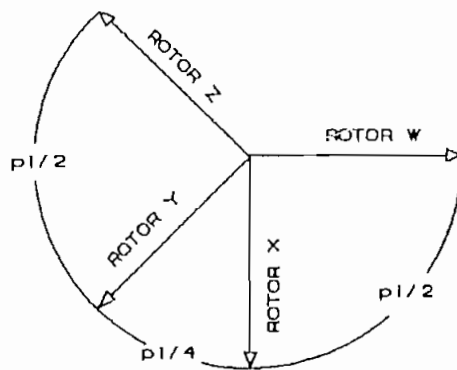


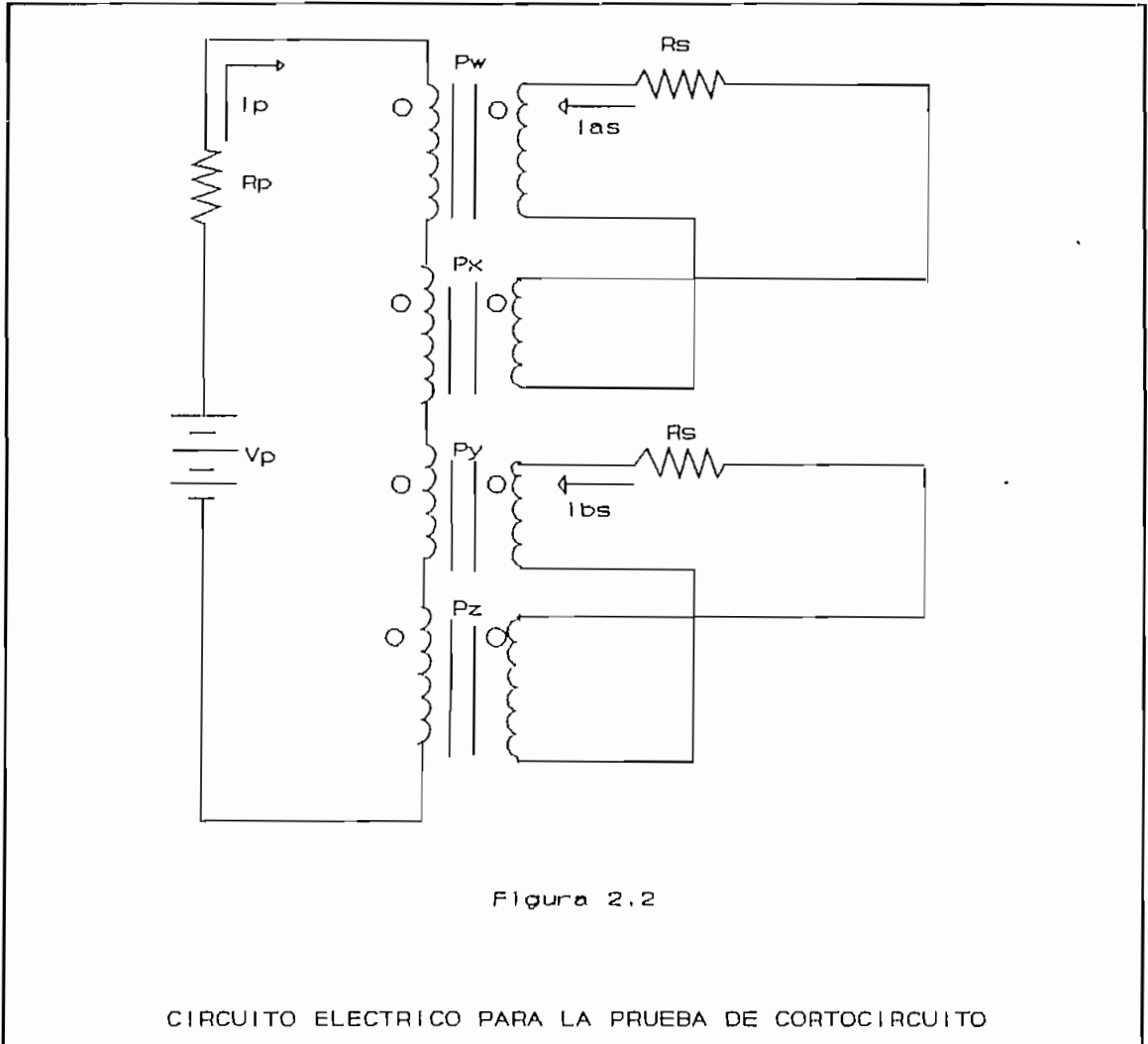
Figura 2.1

REPRESENTACION VECTORIAL DE LA POSICION DE LOS ROTORES

2.1 GENERADOR EN CORTOCIRCUITO

Para este caso se cortocircuita la armadura, y se realiza el estudio a velocidad nominal constante y voltaje de campo nominal; por lo que $V_a = V_b = 0$.

Del circuito de la figura 2.2 para la fase a se tiene:



$$V_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.1)$$

donde:

$$w = \omega / n'$$

n' es el número de secciones del generador $n'=2$, que es equivalente a cuatro polos eléctricos

$$\frac{d}{d\theta} L_a^{ps} = -n a_n \sin n\theta \quad (2.2)$$

donde:

$$a_n = \frac{8L\omega}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} * (\cos \pi \frac{n}{4} - \cos 3\pi \frac{n}{4}) \quad (2.3)$$

$i^p = I^p$ es la corriente de excitación y se la considera constante para mayor facilidad de resolver las ecuaciones.

por lo que reemplazando 2.2 y 2.3 en 2.1 y ordenando se tiene:

$$R^s * i_a^s + w L_a^{ss} \frac{d}{d\theta} i_a^s = + w I^p k \sin n\theta \quad (2.4)$$

por facilidad $\frac{d}{d\theta} i_a^s = y'$

entonces 2.4 se convierte en:

$$w L_a^{ss} y' + R^s * y = w I^p k \sin n\theta \quad (2.5)$$

dividiendo por $w L_a^{ss}$ se tiene:

$$y' + R^s / (w L_a^{ss}) y = I^p k / L_a^{ss} \sin n\theta \quad (2.6)$$

Si:

$$A = R^s / (w L_a^{ss}) \quad y \quad B = I^p k / L_a^{ss}$$

se tiene

$$y' + A y = B \sin n\theta$$

que es una ecuación diferencial lineal de primer orden y tiene por solución:

$$y = [B / (A^2 + n^2)] * (A \sin n\theta - n \cos n\theta)$$

reemplazando y simplificando se tiene:

$$i_a^s(\theta) = I^p w \frac{n a_n}{R^s + (nwL_a^{ss})^2} * (R^s \sin n\theta - nwL_a^{ss} \cos n\theta) \quad (2.7)$$

de manera similar para la fase b se tiene:

$$i_b^s(\theta) = \frac{I^p wn a_n}{R^s + (nwL_b^{ss})^2} * (R^s \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) - nwL_b^{ss} \cos n(\theta - \frac{\pi}{2}))$$

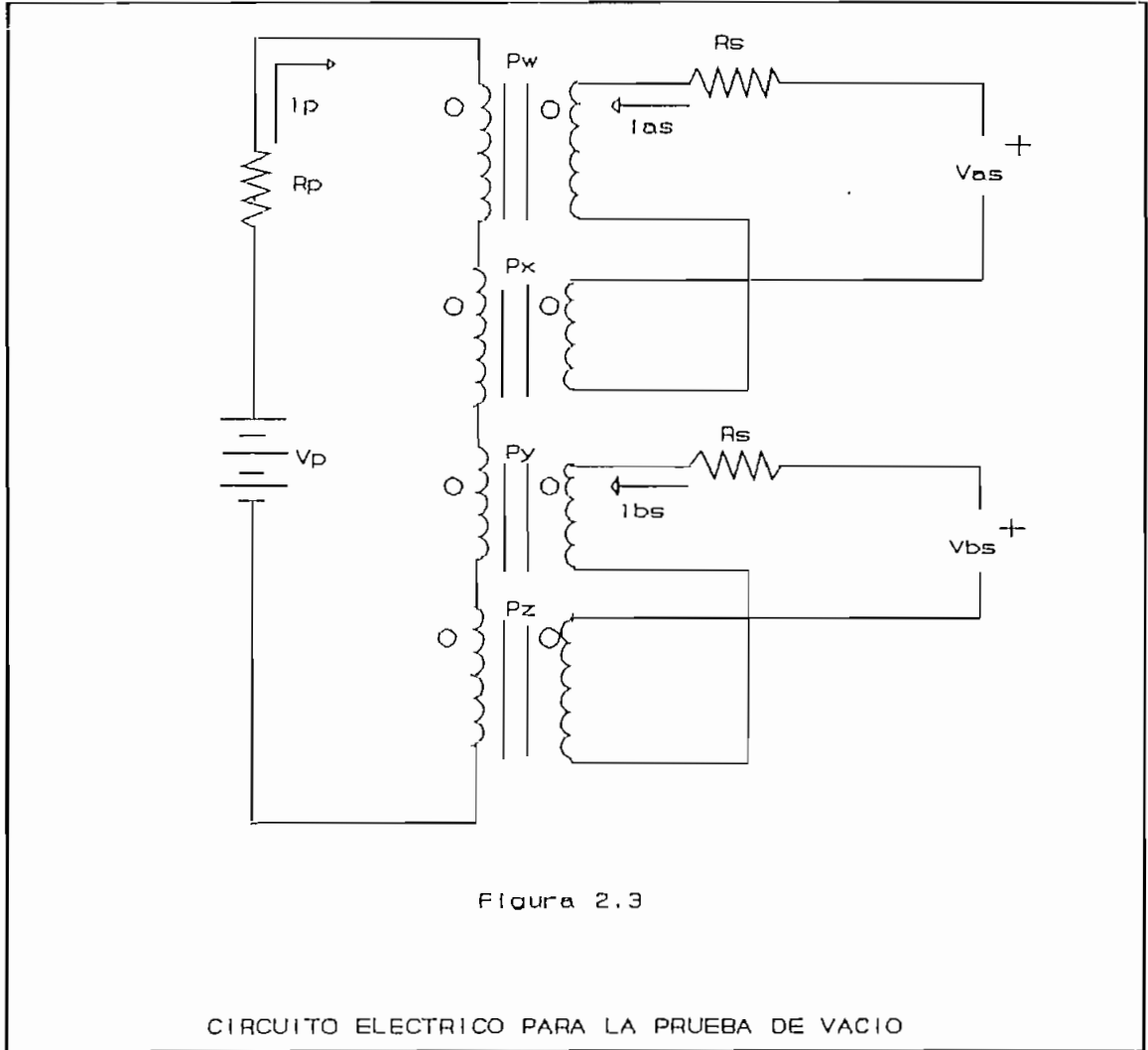
donde: (2.8)

$$a_n = \frac{8L_o}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} * (\cos n \frac{\pi}{4} - \cos 3n \frac{\pi}{4}) \quad (2.9)$$

Se puede observar en las ecuaciones que existe un desfazamiento de $\pi/2$ entre las fases, que es la posición de desfase entre los rotores como se analizó en el capítulo 1.

2.2 GENERADOR EN VACIO

Se realiza a velocidad, corriente y voltaje de campo constante, los terminales de armadura abiertos, las ecuaciones respectivas para este caso se deduce de la figura 2.3.



El voltaje para la fase a en la armadura es:

$$v_a^e = v_w^e - v_x^e$$

donde:

v_w^e es el voltaje en la armadura w

v_x^e es el voltaje en la armadura x

pero $v = I \omega \frac{dL}{d\theta}$ por lo que:

$$v_a^e = I \omega \frac{d}{d\theta} (L_w^e - L_x^e) = I \omega \frac{d}{d\theta} L_a^e$$

por lo que:

$$v_a^e = -I \omega \sum_{n=1}^{\infty} n a_n \sin n\theta \quad (2.10)$$

de manera similar para la fase b se tiene:

$$v_b^e = -I \omega \sum_{n=1}^{\infty} n a_n \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) \quad (2.11)$$

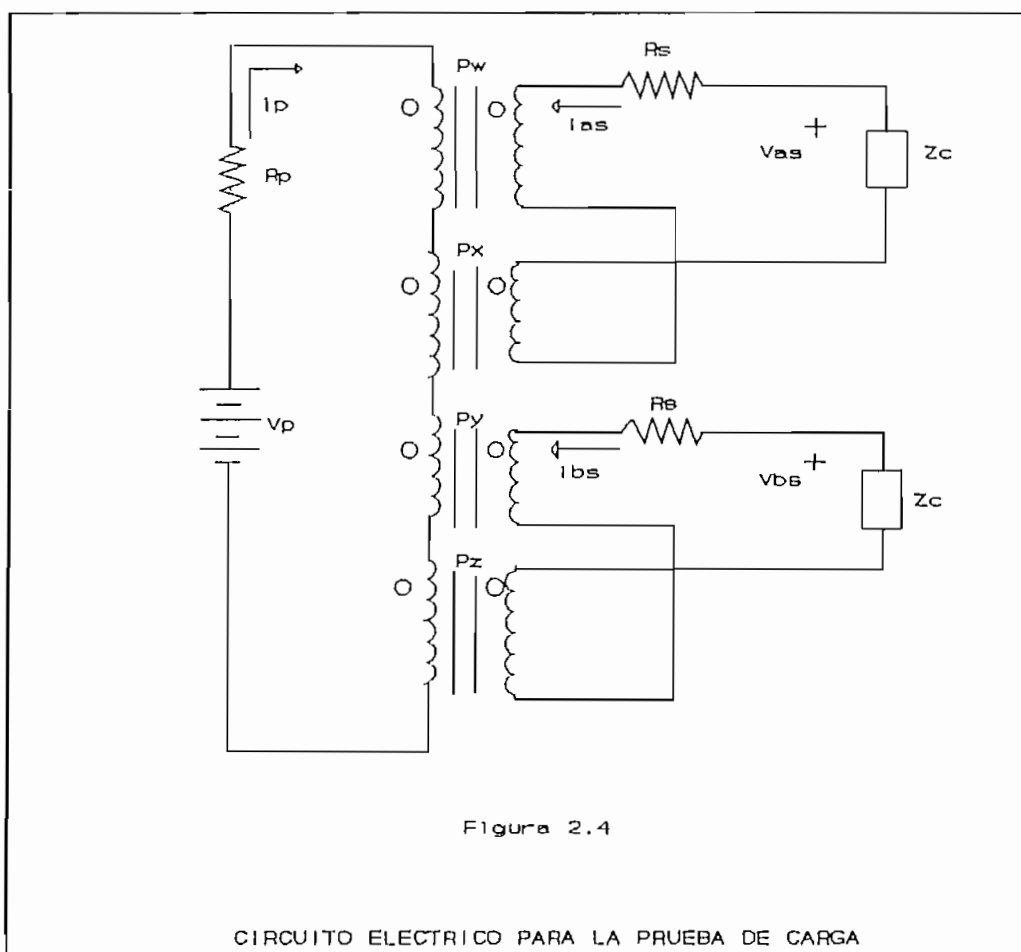
2.3 GENERADOR CON CARGA

Para el efecto se considera carga resistiva, inductiva, capacitiva, resistiva - inductiva, resistiva - capacitiva, carga R-L-C y capacitiva - inductiva.

En el circuito de la figura 2.4 se realiza el análisis de las ecuaciones considerando, velocidad, voltaje y corriente de campo constante e igual a la nominal.

Las inductancias L_a^{ee} y L_b^{ee} por ser constantes, sus derivadas son cero por lo que se simplifica el análisis.

Para el efecto Z_c representa los distintos tipos de carga a analizar.



2.3.1 CARGA RESISTIVA

De la figura 2.4 se obtiene la siguiente ecuación, donde $Z_c=R$.

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.12)$$

pero:

$$V_{ca} = -R * i_{ca}$$

por lo que:

$$v_a^s = -R * i_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.13)$$

despejando y dividiendo por w y L_{ca}^{ss} se tiene:

$$\frac{-(R+R^s)}{wL_a^{ss}} i_a^s - \frac{d}{d\theta} i_a^s = \frac{I^p}{L_a^{ss}} \frac{d}{d\theta} L_a^{ps} \quad (2.14)$$

donde:

$$d/d\theta i_{ca} = y'$$

por lo que:

$$y' + A y = + B \text{ sen } n\theta$$

donde :

$$A = (R+R^s)/(wL_{ca}^{ss})$$

$$B = I^p * k / L_{ca}^{ss}$$

la cual es una ecuación diferencial lineal de primer orden y tiene por solución :

$$y = [B/(A^2+n^2)] * (A \text{ sen } n\theta - n \text{ cos } n\theta)$$

reemplazando y simplificando se tiene:

$$i_a^s = \frac{(I^p w n a_n) * [(R+R^s) \sin n\theta - nwL_a^{ss} \cos n\theta]}{(R+R^s)^2 + (nwL_a^{ss})^2} \quad (2.15)$$

por lo que:

$$V_a^s = \frac{I^p w n R a_n * [(R+R^s) \sin n\theta - nwL_a^{ss} \cos n\theta]}{(R+R^s)^2 + (nwL_a^{ss})^2} \quad (2.16)$$

de igual manera para la fase b se tiene:

$$i_b^s = \frac{I^p w n a_n * [(R+R^s) \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) - nwL_b^{ss} \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{(R+R^s)^2 + (nwL_b^{ss})^2} \quad (2.17)$$

por lo que:

$$V_b^s = \frac{I^p w n R a_n * [(R+R^s) \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) - nwL_b^{ss} \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{(R+R^s)^2 + (nwL_b^{ss})^2} \quad (2.18)$$

donde an esta dado por (2.9).

2.3.2 CARGA INDUCTIVA

Se considera el caso de carga puramente inductiva, donde $Z_c=L$, de acuerdo al circuito de la figura 2.4 se tiene:

$$V_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.19)$$

pero:

$$V_a^s = -wL \frac{d}{d\theta} i_a^s \quad (2.20)$$

por lo que:

$$v_a^s = -wL \frac{d}{d\theta} i_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.21)$$

despejando y dividiendo para $w(L+L_a^{ss})$ se tiene:

$$-\frac{d}{d\theta} i_a^s - \frac{R^s}{w(L+L_a^{ss})} i_a^s = \frac{I^p}{L+L_a^{ps}} \frac{d}{d\theta} L_a^{ps} \quad (2.22)$$

si:

$$d/d\theta i_a^s = y'$$

por lo que:

$$y' + A y = + B \operatorname{sen} n\theta$$

donde :

$$A = R^s / [w(L+L_a^{ss})]$$

$$B = I^p n a_n / [(L+L_a^{ss})]$$

La cual es una ecuación diferencial lineal de primer orden y tiene por solución :

$$y = [B / (A^2 + n^2)] * (A \operatorname{sen} n\theta - n \operatorname{cos} n\theta)$$

reemplazando y simplificando se tiene:

$$i_a^s = \frac{I^p n w a_n * [R^s \operatorname{sen} n\theta - n w (L_a^{ss} + L) \operatorname{cos} n\theta]}{R^{s^2} + [n w (L_a^{ss} + L)]^2} \quad (2.23)$$

por lo que:

$$\frac{d}{d\theta} i_a^s = \frac{I^p n^2 w a_n * [R^s \operatorname{cos} n\theta + n w (L_a^{ss} + L) \operatorname{sen} n\theta]}{R^{s^2} + [n w (L_a^{ss} + L)]^2} \quad (2.24)$$

reemplazando 2.24 en 2.20 se tiene:

$$v_a^s = - \frac{LI^p n^2 w^2 a_n * [R^s \cos n\theta + nw(L_a^{ss} + L) \sin n\theta]}{R^{s^2} + [nw(L_a^{ss} + L)]^2} \quad (2.25)$$

De igual manera para la fase b se tiene:

$$i_b^s = \frac{I^p n w a_n * [R^s \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) - nw(L_b^{ss} + L) \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{R^{s^2} + [nw(L_b^{ss} + L)]^2} \quad (2.26)$$

de donde:

$$\frac{d}{d\theta} i_b^s = \frac{I^p n^2 w a_n * [R^s \cos n(\theta - \frac{\pi}{2}) + nw(L_b^{ss} + L) \sin n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{R^{s^2} + [nw(L_b^{ss} + L)]^2} \quad (2.27)$$

por lo que:

$$v_b^s = - \frac{LI^p n^2 w^2 a_n * [R^s \cos n(\theta - \frac{\pi}{2}) + nw(L_b^{ss} + L) \sin n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{R^{s^2} + [nw(L_b^{ss} + L)]^2} \quad (2.28)$$

Donde a_n esta dado por la ecuación 2.9

2.3.3 CARGA CAPACITIVA

Del circuito de la figura 2.4 considerando velocidad, voltaje y corriente de campo nominal, para carga capacitiva, $Z_c = C$, planteando las ecuaciones voltamperimétricas como en los casos anteriores se tiene:

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.29)$$

$$\text{pero: } V_a^s = -\frac{1}{\omega C} * \int i_a^s d\theta \quad (2.30)$$

reemplazando 2.30 en 2.29 se tiene:

$$v_a^s = -\frac{1}{\omega C} \int i_a^s d\theta = R^s i_a^s + \omega \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i_a^s) + \omega \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.31)$$

Derivando 2.31 con respecto a θ se tiene:

$$-\frac{i_a^s}{\omega C} = R^s \frac{d}{d\theta} i_a^s + \omega I^p \frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} + \omega L_a^{ss} \frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s \quad (2.32)$$

$$\text{pero } \frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} = -n^2 a_n \cos n\theta \quad \text{de 2.2} \quad (2.33a)$$

Por lo que ordenando y reemplazando 2.33a se tiene:

$$\omega L_a^{ss} \frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + R^s \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{\omega C} = +n^2 a_n \omega I^p \cos n\theta \quad (2.33)$$

dividiendo 2.33 por ωL_a^{ss} se tiene:

$$\frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + \frac{R^s}{\omega L_a^{ss}} \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{\omega^2 C L_a^{ss}} = + \frac{n^2 a_n I^p}{L_a^{ss}} \cos n\theta \quad (2.34)$$

Por facilidad se define:

$$A = \frac{R^s}{\omega L_a^{ss}} \quad B = \frac{1}{\omega^2 C L_a^{ss}} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{L_a^{ss}} \quad \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} = y'' \quad (2.35)$$

Por lo que 2.34 es:

$$y'' + Ay' + By = C_1 \cos n\theta$$

que es una ecuación diferencial lineal de segundo orden que tiene por solución:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B - n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B - n^2)^2} + k_1 e^{-A'\theta} + k_2 e^{-B'\theta} \quad (2.36)$$

pero $e^{-A'\theta}$ y $e^{-B'\theta}$ son términos despreciables por lo que la ecuación 2.35 se reduce a:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B - n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B - n^2)^2} \quad (2.37)$$

de igual manera para la fase b se tiene:

$$i_b^s = \frac{C_1 [nA \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) + (B - n^2) \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{A^2 n^2 + (B - n^2)^2} \quad (2.38)$$

donde:

$$A = \frac{R^s}{\omega L_b^{ss}} \quad B = \frac{1}{\omega^2 C L_b^{ss}} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{L_b^{ss}} \quad (2.39)$$

El voltaje para la fase a y b se obtiene integrando las ecuaciones 2.37 y 2.38 con 2.30 por lo que:

$$V_a^s = -C_1 \frac{[-nA \cos n\theta + (B-n^2) \operatorname{senn}\theta]}{wCn [A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \quad (2.40)$$

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.35

$$V_b^s = -C_1 \frac{[-nA \cos n(\theta - \frac{\pi}{2}) + (B-n^2) \operatorname{senn}(\theta - \frac{\pi}{2})]}{wCn [A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \quad (2.41)$$

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.39

2.3.4 CARGA RL, RC, RLC, CL.

Debido a los diferentes tipos de carga que se puede conectar al generador para hacer un buen análisis de los efectos que produce los distintos tipos de carga como inductiva y capacitiva con respecto a la resistiva se plantea la ecuación general considerando el circuito de la figura 2.4.

2.3.4.1 CARGA RL

La ecuación general de la máquina de reluctancia es:

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.42)$$

pero:

$$Z_c = wL \frac{d}{d\theta} + R$$

$$V_a^s = -(wL \frac{d}{d\theta} i_a^s + R i_a^s) \quad (2.43)$$

por lo que:

$$v_a^s = -(wL \frac{d}{d\theta} i_a^s + R i_a^s) = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.44)$$

despejando y dividiendo para $w(L+L_a^{ss})$ se tiene:

$$\frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{R+R^s}{w(L+L_a^{ss})} i_a^s = \frac{I^p}{L+L_a^{ss}} n a_n \sin n\theta \quad (2.45)$$

si: $d/d\theta i_a^s = y'$

por lo que:

$$y' + A y = + B \sin n\theta$$

donde :

$$A = (R+R^s)/[w(L+L_a^{ss})]$$

$$B = I^p n a_n / [L+L_a^{ss}]$$

La cual es una ecuación diferencial lineal de primer orden y tiene por solución :

$$y = [B/(A^2+n^2)] * (A \sin n\theta - n \cos n\theta)$$

reemplazando y simplificando se tiene:

$$i_a^s = \frac{I^p n w a_n * [(R+R^s) \sin n\theta - n w (L_a^{ss} + L) \cos n\theta]}{(R+R^s)^2 + [n w (L_a^{ss} + L)]^2} \quad (2.46)$$

por lo que:

$$\frac{d}{d\theta} i_a^s = \frac{I^p w n^2 a_n * [(R+R^s) \cos n\theta + n w (L_a^{ss} + L) \sin n\theta]}{(R+R^s)^2 + [n w (L_a^{ss} + L)]^2} \quad (2.47)$$

reemplazando 2.46 y 2.47 en 2.43 se tiene:

$$\begin{aligned}
 v_a^s = & - \frac{[I^P \omega n a_n R] * [(R+R^s) \sin n\Theta - n\omega(L_a^{ss} + L) \cos n\Theta]}{(R+R^s)^2 + [n\omega(L_a^{ss} + L)]^2} + \\
 & - \frac{[I^P \omega^2 n^2 a_n L] * [(R+R^s) \cos n\Theta + n\omega(L + L_a^{ss}) \sin n\Theta]}{(R+R^s)^2 + [n\omega(L_a^{ss} + L)]^2} \quad (2.48)
 \end{aligned}$$

De igual manera para la fase b se tiene:

$$i_b^s = \frac{I^P n \omega a_n * [(R+R^s) \sin(\Theta - \frac{\pi}{2}) - n\omega(L_b^{ss} + L) \cos(\Theta - \frac{\pi}{2})]}{(R+R^s)^2 + [n\omega(L_b^{ss} + L)]^2} \quad (2.49)$$

$$\begin{aligned}
 v_b^s = & - \frac{[I^P \omega n a_n R] * [(R+R^s) \sin(\Theta - \frac{\pi}{2}) - n\omega(L_b^{ss} + L) \cos(\Theta - \frac{\pi}{2})]}{(R+R^s)^2 + [n\omega(L_b^{ss} + L)]^2} + \\
 & - \frac{[I^P \omega^2 n^2 a_n L] * [(R+R^s) \cos(\Theta - \frac{\pi}{2}) + n\omega(L + L_b^{ss}) \sin(\Theta - \frac{\pi}{2})]}{(R+R^s)^2 + [n\omega(L_b^{ss} + L)]^2} \quad (2.50)
 \end{aligned}$$

2.3.4.2 CARGA RC

De la figura 2.4 se tiene:

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.61)$$

el voltaje en la carga es:

$$V_a^s = -(R i_a^s + \frac{1}{wC} * \int i_a^s d\theta) \quad (2.62)$$

reemplazando 2.62 en 2.61 se tiene:

$$v_a^s = -(R i_a^s + \frac{1}{wC} \int i_a^s d\theta) = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.63)$$

Derivando 2.63 con respecto a θ se tiene:

$$-R \frac{d i_a^s}{d\theta} - \frac{i_a^s}{wC} = R^s \frac{d}{d\theta} i_a^s + w I^p \frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} + w L_a^{ss} \frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s \quad (2.64)$$

$$\text{pero} \quad \frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} = -n^2 a_n \cos n\theta \quad \text{de 2.2} \quad (2.65)$$

Por lo que:

$$w L_a^{ss} \frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + (R + R^s) \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{wC} = +n^2 a_n w I^p \cos n\theta \quad (2.66)$$

dividiendo 2.66 por $w L_a^{ss}$ se tiene:

$$\frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + \frac{R + R^s}{w L_a^{ss}} \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{w^2 C L_a^{ss}} = + \frac{n^2 a_n I^p}{L_a^{ss}} \cos n\theta \quad (2.67)$$

Por facilidad se define:

$$A = \frac{R+R^s}{\omega L_a^{ss}} \quad B = \frac{1}{\omega^2 CL_a^{ss}} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{L_a^{ss}} \quad \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} = y'' \quad (2.68)$$

Por lo que 2.68 es:

$$y'' + Ay' + By = C_1 \cos n\theta$$

que es una ecuación diferencial lineal de segundo orden que tiene por solución:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B-n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} + k_1 e^{-A'\theta} + k_2 e^{-B'\theta} \quad (2.69)$$

pero $e^{-A'\theta}$ y $e^{-B'\theta}$ son términos despreciables por lo que la ecuación 2.69 se reduce a:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B-n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} \quad (2.70)$$

de igual manera para la fase b se tiene:

$$i_b^s = \frac{C_1 [nA \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) + (B-n^2) \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} \quad (2.71)$$

donde:

$$A = \frac{(R+R^s)}{\omega L_b^{ss}} \quad B = \frac{1}{\omega^2 CL_b^{ss}} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{L_b^{ss}} \quad (2.72)$$

El voltaje para la fase a y b se obtiene de 2.70 y 2.71, integrando dichas ecuaciones y reemplazando en 2.62, por lo que se tiene:

$$V_a^s = -C_1 \frac{[RwCn^2 A + (B-n^2)] \operatorname{sinn}\theta + [RwCn(B-n^2) - nA] \operatorname{cosn}\theta}{wCn [A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \quad (2.73)$$

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.68

$$V_b^s = -C_1 \frac{[RwCn^2 A + (B-n^2)] \operatorname{sinn}(\theta - \frac{\pi}{2}) + [RwCn(B-n^2) - nA] \operatorname{cosn}(\theta - \frac{\pi}{2})}{wCn [A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \quad (2.74)$$

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.72

2.3.4.3 CARGA RLC

De la figura 2.4 se tiene:

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.75)$$

el voltaje en la carga es:

$$V_a^s = -(R i_a^s + Lw \frac{d i_a^s}{d\theta} + \frac{1}{wC} \int i_a^s d\theta) \quad (2.76)$$

reemplazando 2.76 en 2.75 se tiene:

$$V_a^s = -(R i_a^s + \frac{wL d i_a^s}{d\theta} + \frac{1}{wC} \int i_a^s d\theta) = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.77)$$

Derivando 2.77 con respecto a θ se tiene:

$$-R \frac{di_a^s}{d\theta} - wL \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} - \frac{i_a^s}{wC} = R^s \frac{d}{d\theta} i_a^s + wI^p \frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} + wL_a^{ss} \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} \quad (2.78)$$

pero $\frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} = -n^2 a_n \cos n\theta$ de 2.2 (2.79)

Por lo que:

$$w(L+L_a^{ss}) \frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + (R+R^s) \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{wC} = +n^2 a_n wI^p \cos n\theta \quad (2.80)$$

dividiendo 2.80 por $w(L+L_a^{ss})$ se tiene:

$$\frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + \frac{R+R^s}{w(L+L_a^{ss})} \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{w^2 C (L+L_a^{ss})} = + \frac{n^2 a_n I^p}{L+L_a^{ss}} \cos n\theta \quad (2.81)$$

Por facilidad se define:

$$A = \frac{R+R^s}{w(L+L_a^{ss})} \quad B = \frac{1}{w^2 C (L+L_a^{ss})} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{L+L_a^{ss}} \quad \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} = y'' \quad (2.82)$$

Por lo que 2.82 es:

$$y'' + Ay' + By = C_1 \cos n\theta$$

que es una ecuación diferencial lineal de segundo orden que tiene por solución:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B-n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} + k_1 e^{-\lambda'\theta} + k_2 e^{-B'\theta} \quad (2.83)$$

pero $e^{-A\theta}$ y $e^{-B\theta}$ son términos despreciables por lo que la ecuación 2.83 se reduce a:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B-n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} \quad (2.84)$$

de igual manera para la fase b se tiene:

$$i_b^s = \frac{C_1 [nA \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) + (B-n^2) \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} \quad (2.85)$$

donde:

$$A = \frac{(R+R^s)}{w(L+L_b^{ss})} \quad B = \frac{1}{w^2 C(L+L_b^{ss})} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{(L+L_b^{ss})} \quad (2.86)$$

El voltaje para la fase a se obtiene reemplazando 2.84, en 2.76 y realizando las operaciones indicadas y de manera similar para la fase b por lo que:

$$V_a^s = -C_1 \left[\frac{[RwCn^2 A + (B-n^2)(1-Lw^2 Cn^2)] \sin n\theta}{wCn [A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \right] + \\ -C_1 \left[\frac{[RwCn(B-n^2) + An(Lw^2 Cn^2 - 1)] \cos n\theta}{wCn [A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \right] \quad (2.87)$$

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.82

Para la fase b, V_b^s se tiene una ecuación similar donde :

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.86 y $\theta = \theta - \pi/2$;

2.3.4.4 CARGA CL

De manera similar de la figura 2.4 se tiene:

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.87)$$

el voltaje en la carga es:

$$V_a^s = - \left(Lw \frac{di_a^s}{d\theta} + \frac{1}{wC} \int i_a^s d\theta \right) \quad (2.88)$$

reemplazando 2.88 en 2.87 se tiene:

$$v_a^s = - \left(\frac{wL di_a^s}{d\theta} + \frac{1}{wC} \int i_a^s d\theta \right) = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) \quad (2.89)$$

Derivando 2.89 con respecto a θ se tiene:

$$-wL \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} - \frac{i_a^s}{wC} = R^s \frac{d}{d\theta} i_a^s + wI^p \frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} + wL_a^{ss} \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} \quad (2.90)$$

$$\text{pero} \quad \frac{d^2}{d\theta^2} L_a^{ps} = -n^2 a_n \cos n\theta \quad \text{de 2.2} \quad (2.91)$$

Por lo que:

$$w(L+L_a^{ss}) \frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + R^s \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{wC} = +n^2 a_n wI^p \cos n\theta \quad (2.92)$$

dividiendo 2.92 por $w(L+L_a^{ss})$ se tiene:

$$\frac{d^2}{d\theta^2} i_a^s + \frac{R^s}{w(L+L_a^{ss})} \frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{i_a^s}{w^2 C(L+L_a^{ss})} = + \frac{n^2 a_n I^p}{L+L_a^{ss}} \cos n\theta \quad (2.93)$$

Por facilidad se define:

$$A = \frac{R^s}{w(L+L_a^{ss})} \quad B = \frac{1}{w^2 C(L+L_a^{ss})} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{L+L_a^{ss}} \quad \frac{d^2 i_a^s}{d\theta^2} = y'' \quad (2.94)$$

Por lo que 2.94 es:

$$y'' + Ay' + By = C_1 \cos n\theta$$

que es una ecuación diferencial lineal de segundo orden que tiene por solución:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B-n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} + k_1 e^{-A'\theta} + k_2 e^{-B'\theta} \quad (2.95)$$

pero $e^{-A'\theta}$ y $e^{-B'\theta}$ son términos despreciables por lo que la ecuación 2.95 se reduce a:

$$i_a^s = \frac{C_1 [nA \sin n\theta + (B-n^2) \cos n\theta]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} \quad (2.96)$$

de igual manera para la fase b se tiene:

donde:

$$i_b^s = \frac{C_1 [nA \sin n(\theta - \frac{\pi}{2}) + (B-n^2) \cos n(\theta - \frac{\pi}{2})]}{A^2 n^2 + (B-n^2)^2} \quad (2.97)$$

$$A = \frac{R^s}{w(L+L_b^{ss})} \quad B = \frac{1}{w^2 C(L+L_b^{ss})} \quad C_1 = \frac{n^2 a_n I^p}{(L+L_b^{ss})} \quad (2.98)$$

El voltaje para la fase a y b se obtiene reemplazando 2.96 en 2.88, y realizando las operaciones y simplificando se tiene:

$$V_a^s = -C_1 \frac{(B-n^2)(1-n^2 CLw^2) \operatorname{senn}\theta + An(n^2 Lw^2 C-1) \operatorname{cosn}\theta}{wCn[A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \quad (2.99)$$

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.94

$$V_b^s = -C_1 \frac{(B-n^2)(1-n^2 CLw^2) \operatorname{senn}(\theta - \frac{\pi}{2}) + An(n^2 Lw^2 C-1) \operatorname{cosn}(\theta - \frac{\pi}{2})}{wCn[A^2 n^2 + (B-n^2)^2]} \quad (2.100)$$

Donde A, B, C₁ esta dado por 2.98

2.4 REGULACION DE VOLTAJE

Se define como la diferencia porcentual entre el voltaje con carga y el vacío dada por la siguiente expresión:

$$R\% = 100 * (V_o - V_t) / V_t \quad (2.101)$$

Donde:

V_t es el voltaje terminal por fase con la carga

V_o es el voltaje terminal en vacío por fase

La regulación de voltaje del generador puede llegar a ser cero o aún negativo, dependiendo del factor de potencia y del tipo de carga.

En el capítulo IV se analiza con más detalle este tópico para los diferentes tipos de carga con los resultados obtenidos en laboratorio.

2.5 ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA COMO MOTOR.

Para trabajar con el generador de reluctancia como motor, por el hecho de tratarse de un motor bifásico, se necesita alimentar por la armadura con voltaje desfasado 90° , esto se lo realiza bajo la configuración respectiva del transformador de SCOTT, que da un desfase de 90° que es lo requerido para estos fines, y alimentando al campo con voltaje DC e igual al nominal.

De acuerdo a la figura 1.2 y alimentando por la armadura un voltaje desfasado 90° , planteando las ecuaciones voltamperimétricas se tiene:

$$v_a^s = R^s i_a^s + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ps} i^p) + w \frac{d}{d\theta} (L_a^{ss} i_a^s) = V \sin \theta \quad (2.102)$$

dividiendo por wL_a^{ss} , despejando y ordenando se tiene:

$$\frac{d}{d\theta} i_a^s + \frac{R^s}{wL_a^{ss}} i_a^s = \frac{I^p}{L_a^{ss}} n a_n \sin n\theta + \frac{V \sin \theta}{wL_a^{ss}} \quad (2.103)$$

si: $d/d\theta i_a^s = y'$

por lo que:

$$y' + A y = + B \sin \theta + C \sin n\theta$$

donde :

$$A = R^s / w L_a^{ss}$$

$$B = V / w L_a^{ss} \quad (2.105)$$

$$C = I^p n a_n / L_a^{ss}$$

La cual es una ecuación diferencial lineal de primer orden y tiene por solución :

$$i_a^s = [B / (A^2 + 1)] * (A \sin \theta - n \cos \theta) + [C / (A^2 + n^2)] * (A \sin n\theta - n \cos n\theta) \quad (2.105)$$

donde A,B,C esta dado por (2.104)

Como se observa en la ecuación (2.105) depende de la posición de los rotores y del número n a analizar.

En el programa se analiza las formas de onda tanto de corriente, voltaje, potencia y torque para el motor y el generador de reluctancia.

CAPITULO III

SIMULACION DIGITAL

3.1 INTRODUCCION

La simulación digital se realiza con el paquete MATLAB, el que necesita un mínimo de 640 Kb de memoria RAM, y debe ser instalado en disco duro, el computador de poseer coprocesador matemático o algún emulador de éste, por su versatilidad, fácil manejo y aprendizaje, para resolver ecuaciones y facilidad para presentar gráficos. Se obtienen las características de las inductancias del generador, el acoplamiento entre campo y armadura, voltajes, corrientes de armadura, potencias en la carga y torque electromagnético, bajo las condiciones de vacío, cortocircuito y carga.

Para comenzar la simulación si el computador no posee coprocesador matemático se corre el emulador digitando

"EM87 /L" y luego se digita "DDRELUC" y llama al programa matlab, el cual automáticamente carga al programa para la simulación.

Posee el programa dos menús de selección de opciones, el primero contiene ayuda, uso de programa y la simulación propiamente dicha, el segundo menú posee el caso a simular, en el cual el programa llama a varios subprogramas del tipo "fnombre.m", donde "nombre" es el caso a simular, los caso son los siguientes, y de acuerdo al tipo de gráficos que desee el usuario se tiene:

GRAFICO PEQUEÑO	GRAFICO GRANDE	CASO
- FC.M	GFC.M	CARGA CAPACITIVA
- FCORTO.M	GFCORTO.M	CORTOCIRCUITO
- FINDUC.M	GFINUC.M	CARACTERISTICAS DEL GENERADOR
- FL.M	GFL.M	CARGA INDUCTIVA

-	FLC.M	GFLC.M	CARGA INDUCTIVA CAPACITIVA
-	FMOTOR.M	GFMOTOR.M	GENERADOR COMO MOTOR
-	FR.M	GFR.M	CARGA RESISTIVA
-	FRL.M	GFRL.M	CARGA RESITIVA CAPACITIVA
-	FRLC.M	GFRLC.M	CARGA RLC
-	FVACIO	GFVACIO.M	GENERADOR EN VACIO
-	FUSO.M		PROGRAMA GENERAL

Cada uno de los subprogramas realiza cálculos iterativos para un tiempo determinado por los datos que pide el programa, y para un rango ajustable entre [10, 100], se recomienda trabajar con n=10 para computadores de baja velocidad por lo que el programa toma poco tiempo dependiendo de la velocidad del computador del usuario, para una XT se tiene aproximadamente 1 min, en realizar los cálculos.

Se realiza la simulación en datos reales de la máquina, lo cual da una idea más real del fenómeno existente para este tipo de máquina.

Si se desea llevar los gráficos a un diskett se sigue el procedimiento indicado al terminar el programa y digitando la palabra o letra indicada, el que crea los gráficos con la extensión "**nombre.MET**", el inconveniente de esto es que cada gráfico ocupa mucho espacio y se necesitará algunos diskett para el efecto; si desea imprimir el gráfico se digita la palabra indicada anteriormente "**nombre.BAT**", el que llama a un programa llamado GPP el cual imprime con alta calidad los gráficos pero toma mucho tiempo para esto, una vez que se imprimió los archivos se borran para evitar confusiones debido a que se van almacenando

los gráficos en orden de creación.

Cualquier resultado o gráfico puede ser impreso presionando la tecla "Print screen" del computador mientras se realiza la simulación.

Se presenta como resultados el valor máximo, mínimo, medio y el valor RMS de voltaje, corriente, potencia y torque electromagnético como también el factor de potencia.

En el programa se crean matrices porosas donde se introducen los valores calculados por las iteraciones los cuales son sumados de acuerdo a las ecuaciones establecidas en el capítulo II.

Se toma un paso de integración de 0.0001 que da una mejor resolución de puntos para todos los tipos de gráficos.

Los comandos usados "min,max,mean" realizan la búsqueda o cálculo según el caso en la matriz porosa.

Para la graficación se usa el comando plot el que se encarga de graficar la variable correspondiente para luego ser impresa.

Se posee dos programas, uno para disco duro y otro para trabajar en memoria RAM, lo que hace más fácil el uso del programa, pero no se puede trasladar los gráficos en diskett.

3.2 ECUACIONES PARA LA SIMULACION Y RESOLUCION DIGITAL

En la elaboración del programa se utiliza las ecuaciones obtenidas en el capítulo II, por esta razón se trabaja con valores reales de las máquinas para así tener una mejor idea del funcionamiento.

En términos generales se puede observar que las ecuaciones presentan suma de funciones seno y coseno, con la variante que se da por el tipo de carga que se ponga al generador.

Se presenta como apéndice A el cálculo y resolución de las ecuaciones diferenciales presentadas bajo los distintos tipos de carga, que son del tipo:

$$y'+Ay=B\sin n\theta \quad y'+Ay=B\sin n\theta \quad y''+Ay'+By=C\cos n\theta$$

Como apéndice B se tiene el cálculo de los valores RMS para una función del tipo:

$$y=A*(B*\sin n\theta+C*\cos n\theta)$$

y del tipo:

$$y=A'*(B'*\sin n\theta-C'*\cos n\theta)+A''*(B''*\sin\theta+C''*\cos\theta)$$

3.3 LISTADO DEL PROGRAMA.

```

clc
XAYUDA.M
disp(' El Generador de Reluctancia posee cuatro rotores (w,x,y,z) que por sus ')
disp(' caracteristicas constructivas es de dos polos (Ns=1), asentados sobre un eje')
disp(' el que gira por efecto de una máquina motriz o turbina.')
disp(' A cada rotor está asociado un par de bobinas de campo y armadura, alojadas ')
disp(' en el estator de la máquina.')
disp(' El generador posee dos fases que contempla las bobinas "lws" y "lxs" para la')
disp(' fase "a" y las bobinas "lys" y "lzs" para la fase "b".')
disp(' El campo está compuesto por la asociación en serie de las bobinas Lwp, Lxp,')
disp(' Lyp y Lzp, que se excita con voltaje DC y la corriente lp se la considera')
disp(' constante, caso contrario, existe un rizado por efecto del acoplamiento. ')
disp(' Las inductancias tanto de campo (lkp) (k=w,x,y,z), como de armadura, (lks), ')
disp(' la resistencia de campo (rp) propia debido a los bobinados de campo')
disp(' la resistencia de armadura (rs) propia por efecto de los bobinados de ')
disp(' armadura son los elementos primordiales presentes en la máquina.')
disp(' Por estar sustentado el campo y la armadura sobre un mismo hierro, se produce')
disp(' el acoplamiento mutuo entre estos bobinados dando lugar a una inductancia Lkps')
disp(' que tiene un tratamiento similar al de un transformador, esta inductancia varia')
disp(' por efecto de la velocidad, y por la posición del rotor.')
disp(' Debido a esto se toma como dato importante el máximo valor de Laps y Lbps ')
disp(' que se la denomina Lo; Laps esta asociados a los grupos (w-x) y Lbps a (y-z)')
disp(' El análisis se realiza considerando las direcciones y sentidos de voltajes y')
disp(' corrientes, como se presenta a continuación el esquema del Generador de Reluctancia.
continuar')

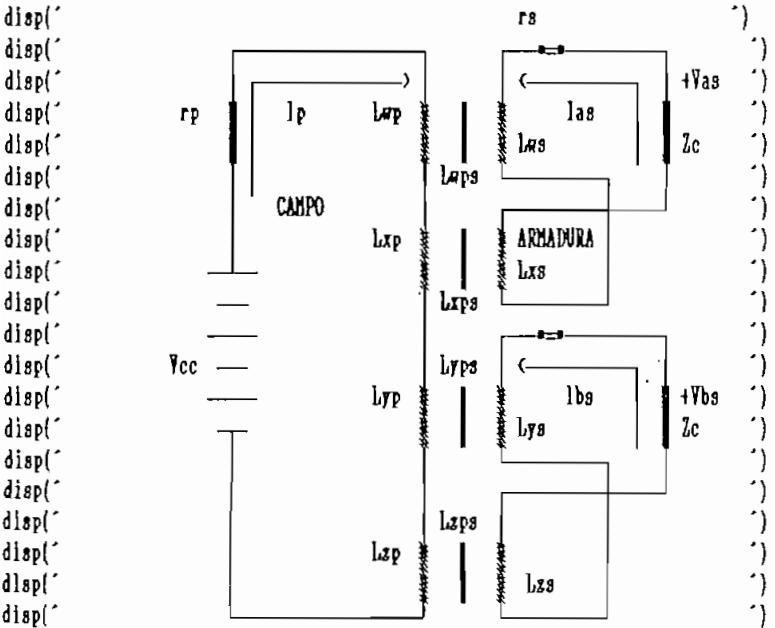
```

"ENTER" para

```

pause
clc

```



```

pause(3)
disp('')

```

"ENTER" para continuar

```

pause
clc

```

```

disp('El generador de reluctancia posee cuatro rotores y cuatro estatores en el cual')
disp('se aloja los bobinados de campo y armadura, que están distribuidos dos por')
disp('fase los rotores están desplazados 90° mecánicos (Rw-Ry) y (Rx-Rz) por fase y')
disp('45° entre fases (Rw-Rx) y (Ry-Rz) con sus rotores correspondientes. ')
disp('La excitación se la realiza con voltaje DC al bobinado de campo, posee cuatro')
disp('bobinas de campo que se conectan en serie, dando lugar a una sola bobina que se')
disp('la conoce como Lpp. Para la armadura se conectan las bobinas como en la')
disp('figura anterior obteniéndose las fases "A" y "B" para el caso bifásico. ')
disp('')
disp('Por la particularidad de esta máquina, que se aprovecha la variación de la ')
disp('inductancia por efecto del movimiento del generador, y de la posición del ')
disp('rotor da lugar a considerar el acoplamiento mutuo existente entre las ')
disp('bobinas de campo y armadura bajo la acción de la velocidad del generador. ')
disp('Las inductancias predominantes es la Laps, Lbps y Lo que son las inductancias')
disp('de acoplamiento entre campo y armadura, y Lo es la inductancia máxima de estas. ')
disp('Existe el desfazamiento de 90° eléctricos en las señales de voltaje y ')
disp('corrientes por fase, esto se debe a que la inductancia Laps es función de la ')
disp('posición del rotor y es de tipo cosenooidal, mientras que Lbps es de tipo ')
disp('senoidal o cosenooidal pero desfasado 90°')
disp('Estas inductancias son función de la reluctancia o permeancia existente y del ')
disp('número de vueltas de los bobinados de campo como de armadura. ')
disp('')
disp('          *ENTER* para continuar')
pause
clc
disp('Lo es función del número de vueltas del primario y secundario como ')
disp('de la reluctancia por tanto: ')
disp('           $Lo = Np^2 / \mu_0 \mu_r g$  y  $\mu = g / \mu_0 \mu_r A$ ')
disp('g es el entrehierro')
disp('μo es la permeabilidad y "A" es el área en la posición de mínima reluctancia')
disp('la que se da cuando el rotor está frente al polo del estator. ')
disp('De acuerdo a la forma del rotor se toman datos de: ')
disp('Distancia máxima entre los polos del estator "D"')
disp('Diámetro del rotor "d"')
disp('Distancia de la cuerda que forma el polo del estator y/o rotor "S", la que')
disp('fuese más corta, esto es por el aprovechamiento del área común a ambas. ')
disp('Largo o profundidad del rotor "L". Todas las dimensiones vienen dadas en mm. ')
disp('Con esto se logra obtener la inductancia de acoplamiento "Lo" máxima en ')
disp('función de la posición del rotor. ')
disp('Existe una íntima relación entre las inductancias de campo y armadura, dadas')
disp('exclusivamente por el tipo de configuración tanto en el campo como en la ')
disp('armadura, para el caso bifásico se cumple: ')
disp('')
disp('           $Lpp = 2Lss (Np/Ns)^2$ ')
disp('Esto se debe a la influencia de la permeancia para cada grupo de estator')
disp('y rotor del generador')
disp('          *ENTER* para continuar')
pause
clc
disp('En la simulación se observa el efecto entre cada fase tanto de voltaje como de ')
disp('corriente por efecto de variación de sus parámetros, se presenta el factor de ')
disp('potencia de la máquina para cada caso a simular considerando la carga a sus ')
disp('terminales como los parámetros internos de la misma, lo que da una idea del ')
disp('funcionamiento por fase de la máquina. ')
disp('Se presenta las potencias y el torque electromagnético del generador para cada ')
disp('caso a analizar, consiguiendo de esto una concepción mejor de su funcionamiento. ')

```

```
disp('')
disp('A continuación se presenta datos típicos para este tipo de máquina.')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('      ^ENTER^ para continuar')
pause
clc
tipico
```

```
XC.BAT
echo off
cls
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo.
echo
echo
echo
echo
echo
gpp capacit /depod /Iprn
delete capacit.bat
cls
```

IMPRESIONANDO!
CARGA CAPACITIVA

```
XCARTORQ.M
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
fprintf('      TORQUE max (a)=18.4g W m.\n\n', matora);
fprintf('      TORQUE min (a)=12.4g W m.\n\n', mintora);
fprintf('      TORQUE medio(a)=18.4g W m.\n\n', medtora);
disp('')
fprintf('      TORQUE max (b)=18.4g W m.\n\n', matorb);
fprintf('      TORQUE min (b)=12.4g W m.\n\n', mintorb);
fprintf('      TORQUE medio(b)=18.4g W m.\n\n', medtorb);
disp('')
pause
```

CARACTERISTICAS DEL TORQUE ELECTROMAGNETICO

```
XCKROS.M
t=0: paso: theta;
```


XCORA5.M

```

disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")

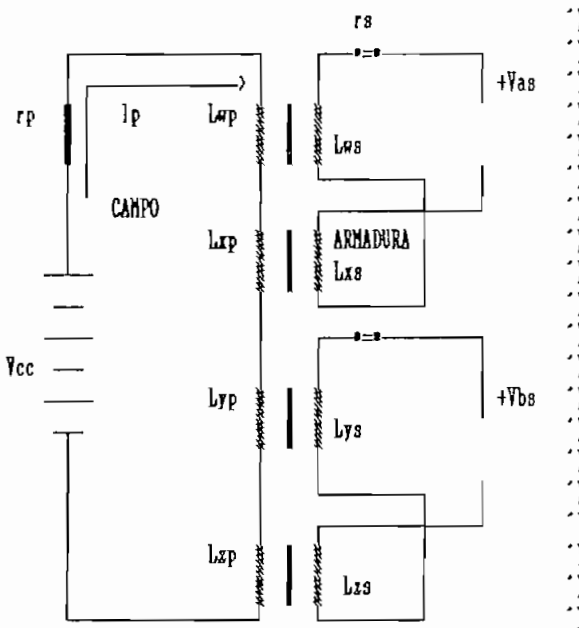
```

"ENTER" para continuar

```

pause
clc
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")

```



"ENTER" para continuar

```

pause(2)
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")

```

XCORA6.M

```

disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")
disp("")

```

"ENTER" para continuar

```

pause
clc
disp("")

```

rs


```

disp('
disp('

while Lsss<=0
Lsss=input(' "Lsss>0"          Lsss (H)=?');
end
while Lbss<=0
Lbss=input(' "Lbss>0"          Lbss (H)=?');
end
while Lo<=0
Lo =input(' "Lo>0"          Lo (H)=?');
end
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
seguro=input('          ESTA SEGURO DE LOS DATOS s/n=?');
if seguro==n ; seguro==M
Lsss=0;Lbss=0;Lo=0;
end
end
seguro=0;n=0;M=0;
while seguro==n ; seguro==M
clc
disp('
disp('
disp('          DATOS DE LA MAQUINA
disp('
disp('

while rs<=0
rs=input(' "rs>0"          rs (Q)=?');
end
while lf<=0
lf=input(' "lf>0" corriente de campo lf (A)=?');
end
while Ms<=0 ; Ms>5
Ms=input(' "0<Ms<5 # par de polos"          Ms =?');
end
while Mm<150 ; Mm>7000
Mm=input(' "150<Mm<7000 rpm"          velocidad (rpm)=?');
end
disp('
disp('
disp('
disp('
seguro=input('          ESTA SEGURO DE LOS DATOS s/n=?');
if seguro==n ; seguro==M
rs=0;lf=0;Ms=0;Mm=0;
end

```

```
end
Ns=Ns*2; ip=lf;

%DCORR1.M
subplot(221),plot(t,ias,'-r')
title('ias')
xlabel('t en ms')
ylabel('Corriente en A')
grid
subplot(222),plot(t,ibs,'-g')
title('ibs')
xlabel('t en ms')
ylabel('Corriente en A')
grid

%DCORR11.M
subplot(221),plot(t,ias,'-r')
title('Corriente [as]')
xlabel('t en ms')
ylabel('Corriente en A')
text(.35,.69,'- ias', 'sc')
grid
subplot(222),plot(t,ibs,'-g')
text(.85,.69,'- ibs', 'sc')
title('Corriente [bs]')
xlabel('t en ms')
ylabel('Corriente en A')
grid

%DDRRELUJ.BAT
echo off
cls
C:\reluctan\graphics.com
cls
C:\reluctan\matlab.bat
cls
```

```
%DEMLIST.M
clc
```

PROGRAMA DIGITAL DIDACTICO PARA LA SIMULACION DEL GENERADOR DE	
RELUCTANCIA	
1)	CARACTERISTICAS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA.
2)	GENERADOR EN VACIO.
3)	GENERADOR CON CARGA RESISTIVA.
4)	GENERADOR CON CARGA INDUCTIVA.
5)	GENERADOR CON CARGA CAPACITIVA.
6)	GENERADOR CON CARGA RESISTIVA - INDUCTIVA.
7)	GENERADOR CON CARGA RESISTIVA - CAPACITIVA.
8)	GENERADOR CON CARGA INDUCTIVA - CAPACITIVA.
9)	GENERADOR CON CARGA R - L - C.
10)	GENERADOR EN CORTOCIRCUITO.
11)	ANALISIS DEL MOTOR DE RELUCTANCIA.
12)	AYUDA

```
X
X 0) SALIR.
X
```

```

%DRR1.M
diasl=diasl+(ip.*AM.*n.^2).*(n.*w.*L.*sin(n.*w.*t)+rs.*cos(n.*w.*t))/(rs.^2+(n.*w.*L).^2);
dibsl=dibsl+(ip.*AM.*n.^2).*(n.*w.*L.*sin(n.*(w.*t-ttr))+rs.*cos(n.*(w.*t-ttr)))/(rs.^2+(n.*w.*L).^2);
%DRR11.M
dia=dia+C1.*(n.^2.*A.*cos(n.*t.*w)-(B-n.^2).*n.*sin(n.*t.*w))/((A.*n).^2+(B-n.^2).^2);
dib=dib+C11.*(n.^2.*A1.*cos(n.*(t.*w-ttr)-(B1-n.^2).*n.*sin(n.*(t.*w-ttr)))/((A1.*n).^2+(B1-n.^2).^2);
%DMAQ.M
clc
disp('')
disp('')
disp('
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
disp('          DATOS DE LA CARGA          ')
disp('
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
disp('')
%DTORQUEA.M
subplot(223),plot(t,torquea,'-r')
xlabel('t en ms')
ylabel('Torque en Nm')
text(.33,.15,'fase a','sc')
grid
%DTORQUEB.M
subplot(224),plot(t,torqueb,'-.g')
xlabel('t en ms')
ylabel('Torque en Nm')
text(.83,.15,'fase b','sc')
grid
%DVOLTA.M
subplot(223),plot(t,vas,'-r')
title('Vas')
xlabel('t en ms')
ylabel('Voltaje en V')
grid
subplot(224),plot(t,vbs,'-.g')
title('Vbs')
xlabel('t en ms')
ylabel('Voltaje en V')
grid
%DVOLTA1.M
subplot(221),plot(t,vas,'-r')
title('Voltaje Vas')
xlabel('t en ms')
ylabel('Voltaje en V')
text(.35,.69,'- Vas','sc')
grid
subplot(222),plot(t,vbs,'-.g')
text(.85,.69,'- Vbs','sc')
xlabel('t en ms')
ylabel('Voltaje en V')
title('Voltaje Vbs')
grid
%FC.M
clear

```

```

clg
pack
%fc.m
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('
CALCULO DE VOLTAJE, CORRIENTE, POTENCIA Y TORQUE
DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA CAPACITIVA
')
pause (2)
coral
clc
ttipico
na
datmaq
dmaq
C=0;
while C<=0
    C=input('    Cc>0'           Ccarga (uF)=?');
end
    wn=wm/60; % velocidad en rev por seg
    f=wn*ns/60;
    w=2*pi*f;
    Cc=C*1.e-6;
    Xc=1/(w*Cc);
    An=8*Lo/pi^2;
    A=rs/(w*Lass);
    B=1/(Cc*w^2*Lass);
    A1=rs/(w*Lbss);
    B1=1/(Cc*w^2*Lbss);
    R=rs;
    L=Lass;L1=Lbss;
fp
cora4
% fase A
% las
%t=theta
theta=4*pi/w;    % en seg
ttr=pi/2; % desfase de rotores
ceros
t=0:paso:theta;
itiasc=zeros(t);
itibsc=zeros(t);
for n=1:2:na
    integ
    iasc=las;
    ibsc=lbs;
    masia=max(iasc);

```

```

menosia=min(iasc);
masib=max(ibsc);
menosib=min(ibsc);
Xpotencia fASS A
Xl=eps;
vas=itiasc./(w.*Cc);
vbs=itibsc./(w.*Cc);
masva=max(vas);
menosva=min(vas);
masvb=max(vbs);
menosvb=min(vbs);
lb=ibsc;
la=iasc;
pactiva
paparena
preacta
pactivb
paparenb
preactb
Xtorque
torque
end
cora2
clc
disp('
disp('
disp('
resul
disp(')
fprintf('
pause
t=t*1000;
clg
dcorrl
dvolta
text(.45,.98,'CARGA C', 'sc')
meta capacit
pause
clc
disp(')
disp('
disp('
disp('
disp(')
ria
disp(')
disp('
disp('
disp(')
rib
pause
clc
disp(')
disp('
disp('

```

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA CAPACITIVA

Ccarga = 18.4g uF.\n\n',C),

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA CAPACITIVA PARA Ias

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA CAPACITIVA PARA Ibs

RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA CAPACITIVA PARA Vas

```

disp('
disp('')
rva
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('')
rvb
pause
clg
pqt
text(.45,.98,'CARGA C', 'sc')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp('')
rpacta
disp('')
disp('
disp('
disp('')
rpactb
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp('')
rpreacta
disp('')
disp('
disp('
disp('')
rpreactb
pause
clg
pqt
text(.45,.98,'CARGA C', 'sc')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp('')
rpaparea
disp('')
disp('
disp('
disp('')

```

RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA CAPACITIVA PARA Vbs

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "C"

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "C"

RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "C"

RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (b) CARGA "C"

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (a) CARGA "C"

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (b) CARGA "C"


```

pause (2)
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')

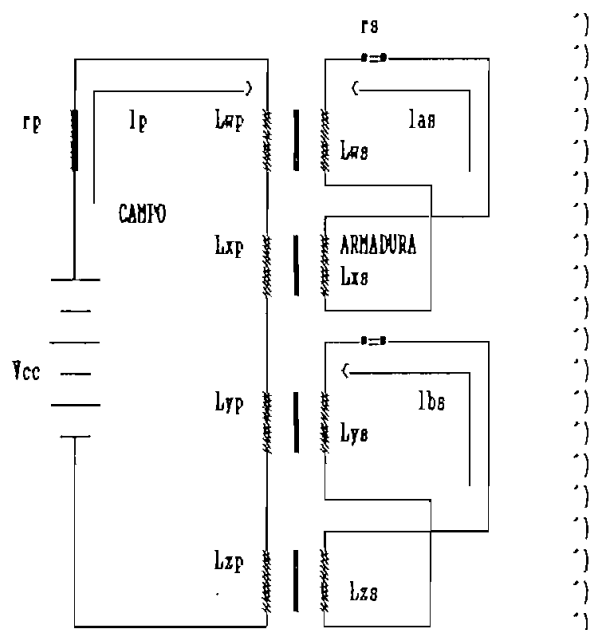
```

"ENTER" para continuar

```

pause
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')

```



"ENTER" para continuar

```

pause(2)
disp('')
disp('')
disp('')
pause
clc
ttipico
na
datmaq
Wn=Wn/60; % velocidad en rev por seg
f=Wn*Wn/60;
w=2*pi*f;
An=8.*Lo./pi.^2;
A=rs/(w*Las);
Al=rs/(w*Lbs);
L=Las;
Li=Lbs;
R=rs;
Xc=eps;
cora4
% fase A

```

```

% las
%t=theta
theta=4*pi/w;
ttr=pi/2;
ceros
fp
t=0;paso:theta;
icora=zeros(t);
icorb=zeros(t);
for n=1:2:na
AM=An.*(cos(n.*pi./4)-cos(3.*pi.*n./4))./n.^2;
icora=icora+(AM.*n.*ip.*w).*(-n.*w.*lbas.*cos(n.*t.*w)+rs.*sin(n.*t.*w))./(rs.^2+(n.*w.*lbas).^2);
masia=max(icora);
menosia=min(icora);
%fase B
%lbs
lcorb=lcorb+(AM.*n.*ip.*w).*(-n.*w.*lbs.*cos(n.*(t.*w-ttr))+rs.*sin(n.*(t.*w-ttr)))./(rs.^2+(n.*w.*lbs).^2);
maslb=max(lcorb);
menoslb=min(lcorb);
%torque
la=icora;
lb=lcorb;
torque
%irms
AA=ip.*n.*AM.*w./(rs.^2+(n.*w.*lbas).^2);
BB=rs;
CC=n.*w.*lbas;
tt=theta*w;
larms=larms+(AA./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(CC.^2-BB.^2)+2.*n.*tt.*(BB.^2+CC.^2)-4.*BB.*CC.*(sin(tt.*n)).^2);
%rms fase b
Aa=ip.*n.*AM.*w./(rs.^2+(n.*w.*lbs).^2);
Bb=BB;
Cc=n.*w.*lbs;
lbrms=lbrms+(Aa./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(Cc.^2-Bb.^2)+2.*n.*tt.*(Bb.^2+Cc.^2)-4.*Bb.*Cc.*(sin(tt.*n)).^2);
;
ias=icora; ibs=lcorb;
end

cora2
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('
resul
disp('')
fprintf('          fpa      =%4.3g \n\n',fpa*FP),
fprintf('          fpb      =%4.3g \n',fpb*FP),
pause
t=t+1000;
clg
dcorr11
text(4250,.98,'CORTOCIRCUITO','sc')
meta corto
pause

```

DATOS DE ANALISIS PARA CORTOCIRCUITO

```

clg
diorquea
diorqueb
grid
text(.38,.01,'TORQUE ELECTROMAGNETICO','sc')
meta
pause
clc
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS EN CORTOCIRCUITO PARA Ias
')
disp('
')
disp('')
ria
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS EN CORTOCIRCUITO PARA Ibs
')
disp('
')
disp('')
rib
pause
cartorq
s=1;n=0;S=1;N=0;
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
impri=input('
DESEA IMPRIMIR LOS GRAFICOS s/n=? ');
if imprí==s ; imprí==S
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('
DIGITE "CORTO" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB
')
cora3
elseif imprí==n ; imprí==N
delete corto.mat
end

clc
clear
pack

```

```

%%INDUC.M
indu
g=gg-diame;
l=diame*asin(sector/diame);
uo=pi*4e-7;
A=L*ancho;
Lo=Hp*Hs*uo*A/(1000*g);

clc
%CALCULO DE an
n=1:1:na;
an(:,n)=[(8*Lo)/(n*pi).^2.*(cos(pi*n/4)-cos(3*pi*n/4))];
an;

plot(n,an(:,n))
grid
title('Característica del término enésimo')
xlabel('n');
ylabel('an');
pause
cora1
%CALCULO DE Laps
%n=n
a=8*Lo/pi^2;
Lass=Hs^2*Lpp/(2*Hp^2);
lbs=Lass;

t=0:paso:theta;
La=zeros(t);
lb=zeros(t);
amin=zeros(t);
bmin=zeros(t);
for n=1:na
    La=La+a*((cos(n*pi/4)-cos(3*pi*n/4))/n^2)*cos(n*t);
    amax=max(La);
    amin=min(La);
%CALCULO DE Lbps

    lb=lb+a*((cos(n*pi/4)-cos(3*pi*n/4))/n^2)*cos(n*(t-tt));
    bmax=max(lb);
    bmin=min(lb);
end

xo=0;
tlps=0:theta;
lp=Lpp+Lpp*tlps*xo;
Las=Lass+Lass*tlps*xo;
lbs=Lbs+Lbs*tlps*xo;

cora2
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
fprintf('

```

<p style="text-align: center;">DATOS DE ANALISIS PARA CARACTERISTICA</p>
--

Lpp = 48.4g H.\n'n', Lpp),

```

fprintf('      Lass = %8.4g H.\n\n',Lass),
fprintf('      Lbss = %8.4g H.\n\n',Lbss),
fprintf('      Lo = %8.4g H.\n\n',Lo),
fprintf('      Entrehierro g=%8.4g mm.\n\n',g),
fprintf('      número de espiras de campo = %8.4g \n\n',Np),
fprintf('      número de espiras de armadura = %8.4g \n\n',Na),
fprintf('      Distancia Polos "D"=%8.4g mm.\n\n',D),
fprintf('      Diámetro Rotor "d"=%8.4g mm.\n\n',diame),
fprintf('      Sector Rotor y/o Estator "S"=%8.4g mm.\n\n',sector),
fprintf('      Longitud Rotor y/o Estator "L"=%8.4g mm.\n\n',ancho)

```

```

pause
% IMPRIME GRAFICAS DE Laps Y Lbps

```

```

clc
subplot(221),plot(t,La,'-r',t,Lb,'-g')
title('Laps y Lbps ')
ylabel('L en H')
xlabel('theta en rad')
text(0.35,0.75,'- Lbps','sc')
text(0.35,0.70,'- Laps','sc')
grid

```

```

subplot(222),plot(Lp,'-r')
title('Induc. de campo Lp')
ylabel('Lp en mH')
xlabel('theta en rad')
grid

```

```

subplot(223),plot(Las,'-g')
title('Lass')
xlabel('theta en rad')
ylabel('Lass en mH')
grid

```

```

subplot(224),plot(Lbs,'-b')
title('Lbss')
xlabel('theta en rad')
ylabel('Lbss en mH')
grid

```

```

meta laps
pause
clc

```

```

disp('
RESULTADOS CARACTERISTICOS DE Laps ')
disp('
Inductancia máxima Laps=%8.4g\n\n',Lo),
disp('
Inductancia mínima Laps=%8.4g\n\n',Lamin),

```

```

disp('
RESULTADOS CARACTERISTICOS DE Lbps ')
disp('
Inductancia máxima Lbps=%8.4g\n\n',Lo),

```

```

fprintf('          Inductancia minima [lbs= $28.4g/n'$ ,bmin),

disp(')
disp(')
pause
s=1;n=0;S=1;N=0;
clc
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
impri=input('          DESKA IMPRIMIR LOS GRAFICOS  s/n=? ');
    if impri==s ; impri==S
        clc
        disp(')
        disp(')
        disp(')
        disp(')
        disp(')
        disp(')
        disp(')
        disp(')
        disp('          DIGITE "INDOC" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB ')
        disp('          ')
        disp('          ')
        cora3

        elseif impri==n ; impri==N
            delete laps.mat
        end

clear
pack
clc

%PL.M
clc
clear
clg
pack
%fl.m
clc
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
disp('          CALULO DE VOLTAJE, CORRIENTE, POTENCIA Y TORQUE ')
disp('          ')
disp('          ')
disp('          DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA INDUCTIVA ')

```

```

disp('
disp('
pause (2)
coral
clc
ttipico
na
datmaq
dmaq
Lc=0;
while Lc<=0
Lc=input('      Lc>0'          Lcarga (H)=?');
end
Wn=Wm/60; % velocidad en rev por seg
f=Wm*Ws/60;
w=2*pi*f;
R=rs;
L=(Lc+Lass);
An=3*Lc/pi^2;
Ll=(Lc+lbs);
Xl=w*Lc;
Xc=eps;
Xt=theta
theta=4*pi/w; % en seg.
ttr=pi/2; % desfase de rotores
fp
coral
% fase A
% las
ceros
t=0:paso:theta;
diasl=zeros(t);
vasl=zeros(t);
dibsl=zeros(t);
vbsl=zeros(t);
for n=1:2:na
iabs
iasl=ias;
ibsl=ibs;
masia=max(iasl);
menosia=min(iasl);
deri
%Yas
vasl=(w.*Lc.*diasl);
masva=max(vasl);
menosva=min(vasl);
vas=vasl;
preacta
paparena
pactiva
%fase B
%lbs
masib=max(ibsl);
menosib=min(ibsl);
%Ybs
vbsl=(w.*Lc.*dibsl);

```



```

masvb=max(vbsl);
menosvb=min(vbsl);
vbs=vbsl;
preactb
paparenb
pactivb
Xrms
ab=(ip.*L.*w.^2.*AN.*n.^2)/(rs.^2+(n.*w.*L).^2);
bb=n.*w.*L;
cb=rs;
tt=theta.*w;
varms=varms+(ab./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(cb.^2-bb.^2)+2.*n.*tt.*(bb.^2+cb.^2)-4.*bb.*cb.*(sin(tt.*n)).^2);
;
Xrms fase b
AB=(ip.*Ll.*w.^2.*AN.*n.^2)/(rs.^2+(n.*w.*Ll).^2);
BB=n.*w.*Ll;
CB=rs;
vbrms=vbrms+(AB./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(CB.^2-BB.^2)+2.*n.*tt.*(BB.^2+CB.^2)-4.*BB.*CB.*(sin(tt.*n)).^2);
;
Xtorque
la=iasl;
lb=ibsl;
torque
end
cora2
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
resul
disp('')
[printf('
[printf('
[printf('
pause
t=t*1000;
clg
dcorri
dvolta
text(.45,.98,'CARGA L','sc')
meta induct
pause
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('
ria
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('')
rlb

```

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA INDUCTIVA

Lcarga =18.4g H.\n\n',Lc),
Ipa =14.3g \n\n',Ipa*IP),
Ipb =14.3g \n\n',Ipb*IP),

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA INDUCTIVA PARA Ias

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA INDUCTIVA PARA Ibs

```

panse
clc
clc
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA INDUCTIVA PARA Vas
')
disp('')
rva
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA INDUCTIVA PARA Vbs
')
disp('')
rvb
pause
clg
ptc
text(.45,.98,'CARGA L','sc')
meta
pause
clc
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "L"
')
disp('')
rpacta
disp('')
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "L"
')
disp('')
rpactb
pause
clc
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "L"
')
disp('')
rpreacta
disp('')
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (b) CARGA "L"
')
disp('')
rpreactb
pause
clg
ptc
text(.45,.98,'CARGA L','sc')
%text(.42,.49,'POTENCIA APARENTE','sc')
%text(.38,.01,'TORQUE ELECTROMAGNETICO','sc')
meta
pause
clc
disp('

```



```

for n=1:2:na
    integ1
    der1
    iaslc=ias;
    ibalc=ibs;
    masia=max(iaslc);
    menosia=min(iaslc);
    %Vas
    vas=-(itiasc/(Cc*tw)+Lc*tw*dia);
    masva=max(vas);
    menosva=min(vas);
    %spota=vas.*iaslc;
    %medaa=mean(spota);
    %minaa=min(spota);
    %maxaa=max(spota);
    preacta
    paparena
    pactiva
    %Iase B
    %Iba
    masib=max(ibalc);
    menosib=min(ibalc);
    %Vbs
    vbs=-(itibsc/(Cc*tw)+Lc*tw*dib);
    masvb=max(vbs);
    menosvb=min(vbs);
    %medvb=mean(vbs);
    %spotb=vbs.*ibalc;
    %maxsb=max(spotb);
    %minsb=min(spotb);
    %medsb=mean(spotb);
    preactb
    paparenb
    pactivb
    %torque
    Ia=iaslc;
    Ib=ibalc;
    torque
    end
    cora2
    t=t*1000;
    clc
    disp('
    disp('
    disp('
    resul
    disp('')
    fprintf('
    fprintf('
    pause
    clg
    dcorri
    dvolta
    text(.45,.98,'CARGA L-C','sc')
    meta inducap
    pause

```

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA L - C

```

Lcarga =X8.4g H.\n\n',Lc),
Ccarga =X8.4g uF.\n\n',C),

```

```

clc
disp('')
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Ia
')
disp('
')
disp('')
ria
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Iba
')
disp('
')
disp('')
rib
pause
clc
disp('')
disp('')
disp('
RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Vas
')
disp('
')
disp('')
rva
disp('')
disp('
RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Vbs
')
disp('
')
disp('')
ryb
pause
clg
pqtc
text(.43,.98,'CARGA L-C', 'sc')
meta
pause
clc
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "L-C"
')
disp('
')
disp('')
rpacta
disp('')
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "L-C"
')
disp('
')
disp('')
rpactb
pauae
clc
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "L-C"
')
disp('
')
disp('')
rpreacta
disp('')
disp('
')

```

```

clc
disp('')
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Ias
')
disp('')
ria
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Ibs
')
disp('')
rib
pause
clc
disp('')
disp('')
disp('
RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Vas
')
disp('')
rva
disp('')
disp('
RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA L - C PARA Vbs
')
disp('')
rvb
pause
clg
pqtc
text(.43,.98,'CARGA L-C','sc')
meta
pause
clc
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "L-C"
')
disp('')
rpacta
disp('')
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "L-C"
')
disp('')
rpactb
pause
clc
disp('
RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "L-C"
')
disp('')
rpreacta
disp('')
disp('

```

```

disp('
disp('
disp('
rpreactb
pause
clc
pslc
text(.43,.98,'CARGA L-C','sc')
Xtext(.42,.49,'POTENCIA APARENTE','sc')
Xtext(.38,.01,'TORQUE ELECTROMAGNETICO','sc')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp('
rpaparea
disp('
disp('
disp('
disp('
rpapareb
pause
clc
cartorg
a=1;n=0;S=1;N=0;
clc
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
impri=input('
if impri==s ; impri==S
clc
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
cora3
elseif impri==n ; impri==N
delete inducap.mat
end

```

```

RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (b) CARGA "L-C"

```

```

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (a) CARGA "L-C"

```

```

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (b) CARGA "L-C"

```

```

*****
DIGITE "C" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB
*****

```



```

clear
pack
clc

% MOTOR
clc
clear
clg
pack
% motor.m
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('
CALCULO DE CORRIENTE, POTENCIA Y TORQUE
')
disp('
PARA EL MOTOR DE RELUCTANCIA
')
disp('
')
disp('
')
disp('
')
disp('
')
disp('
')
disp('
')
pause (2)
cora6
clc
ttipico
na
datmaq
v=0; f=0;
while v<=0
v=input(' "Vac>0" Voltaje de alimentación=?');
end
while f<=10
f=input(' "f>10 Hz" frecuencia (Hz)=?');
end
Xc=0+eps;
R=rs;
V=sqrt(2)*v;
w=2*pi*f;
Nm=f*60/Np;
Nn=Nm/60; % velocidad en rev por seg
cora4
% fase A
% las
% t=theta
theta=4*pi/w;
ttr=pi/2; % desfase entre rotores
An=8*L0/pi^2;
A=rs/(w*Lass);
B=V/(Lass*w);
A1=rs/(w*Lbas);
B1=V/(Lbas*w);
L=Lass;
l1=Lbas;

```

```

ceros
fp
t=0;paso:theta;
va=zeros(t);
svb=zeros(t);
for n=1:2:na
vas=V.*sin(w.*t);
vbs=V.*sin(w.*t-ttr);
AN=An.*(cos(n.*pi./4)-cos(3.*n.*pi./4))./n.^2;
Cl=ip.*n.*AN./lbas;
DD=1./((A.^2+1).*(A.^2+n.^2));
ias=ias+DD.*(B.*(A.^2+n.^2).*(A.*sin(w.*t)-cos(t.*w))+Cl.*(A.^2+1).*(A.*sin(n.*t.*w)-n.*cos(n.*t.*w)));
masias=max(ias);
minias=min(ias);
medias=mean(ias);
%fase B
%lba
Cl1=ip.*n.*AN./lbs;
DD1=1./((A1.^2+1).*(A1.^2+n.^2));
lbs=lbs+DD1.*(B1.*(A1.^2+n.^2).*(A1.*sin(w.*t-ttr)-cos(w.*t-ttr))+Cl1.*(A1.^2+1).*(A1.*sin(n.*(w.*t-ttr))-n.*cos(n.*(w.*t-ttr)))));
maslbs=max(lbs);
minlbs=min(lbs);
medlbs=mean(lbs);
%sva=ias.*vas;
%masva=max(sva);
%minsva=min(sva);
%medsva=mean(sva);

%svb=ibs.*vbs;
%masvb=max(svb);
%minsvb=min(svb);
%medsvb=mean(svb);
%torque
Ia=ias;
Ib=lbs;
torque
%Iarms
tt=theta.*w;
AP=DD*Cl*(A^2+1);
BP=A; CP=n;
APP=DD*B*(A^2+n^2);
BPP=A; CPP=1;
Iarms=Iarms+((AP./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(CP.^2-BP.^2)+2.*n.*tt.*(BP.^2+CP.^2)-4.*BP.*CP.*(sin(n.*tt)).^2))+((APP./sqrt(4.*(tt+eps))).*sqrt(2.*tt.*(BPP.^2+CPP.^2)+(CPP.^2-BPP.^2).*sin(2.*tt)-4.*BPP.*CPP.*(sin(tt))^2)));
%Ibrms
ap=DD1*Cl1*(A1^2+1);
bp=A1; cp=n;
app=DD1*B1*(A1^2+n^2);
bpp=A1; cpp=1;
Ibrms=Ibrms+((ap./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(cp.^2-bp.^2)+2.*n.*tt.*(bp.^2+cp.^2)-4.*bp.*cp.*(sin(n.*tt)).^2))+((app./sqrt(4.*(tt+eps))).*sqrt(2.*tt.*(bpp.^2+cpp.^2)+(cpp.^2-bpp.^2).*sin(2.*tt)-4.*bpp.*cpp.*(sin(tt))^2)));
Iarms=abs(Iarms);Ibrms=abs(Ibrms);
pactlva
pactlvb
paparena

```

```

paparenb
preacta
preactb
end
cora2
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('
resul
disp('')
fprintf('          Vff rms =%8.4g V.\n\n',v),
fprintf('          fpa      =%4.3g \n\n',fpa),
fprintf('          fpb      =%4.3g \n',fpb),
pause
t=l*1000;
clg
dcorri
dvolta
text(.45,.98,'MOTOR','sc')
meta motor
pause
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
fprintf('          las máx =%8.4g A.\n\n',masias),
fprintf('          las mín =%8.4g A.\n\n',minias),
fprintf('          las rms  =%8.4g A.\n\n',iarms),
disp('')
disp('
disp('
disp('
fprintf('          lbs máx =%8.4g A.\n\n',masibs),
fprintf('          lbs mín =%8.4g A.\n\n',minibs),
fprintf('          lbs rms  =%8.4g A.\n\n',ibrms),
pause
clg
pactc
text(.45,.98,'MOTOR','sc')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp('
rpacta
disp('')
disp('
disp('
disp('
rpactb

```

DATOS DE ANALISIS PARA EL MOTOR

Vff rms =%8.4g V.\n\n',v),
fpa =%4.3g \n\n',fpa),
fpb =%4.3g \n',fpb),

RESULTADOS DE las PARA EL MOTOR DE RELUCTANCIA

las máx =%8.4g A.\n\n',masias),
las mín =%8.4g A.\n\n',minias),
las rms =%8.4g A.\n\n',iarms),

RESULTADOS DE lbs PARA EL MOTOR DE RELUCTANCIA

lbs máx =%8.4g A.\n\n',masibs),
lbs mín =%8.4g A.\n\n',minibs),
lbs rms =%8.4g A.\n\n',ibrms),

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) COMO MOTOR

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) COMO MOTOR


```
disp('          DIGITE LA "MOTOR" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB          ')
disp('          ~~~~~~')
cora3

elseif impri ==n ; impri==M
delete motor.net
end

clear
pack
clc

%FP.M
fpa=R/sqrt((w*L-Xc).^2+R.^2);
Xfpa=cos(atan((w*L-Xc)/(R)));
fpb=cos(atan((w*Ll-Xc)/(R)));
if w*L>Xc
FP=1; % retraso
else
FP=-1; % adelanto
end
if w*Ll==Xc
FP=1;% resonancia
end
if w*Ll>Xc
FP=1; %retraso
else
FP=-1; %adelanto
end
if w*Ll==Xc
FP=1;% resonancia
end

%FR.M
clc
clear
clg
pack
%fr.m
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('
CALCULO DE VOLTAJE, CORRIENTE, POTENCIA Y TORQUE
DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA
')
pause (2)
coral
clc
telpico
```

```

na
datmaq
Rc=0;
dmaq
while Rc<=0
Rc=input('   Rc>0'           Rcarga (Ω)=?');
end
Wn=Wm/60; % velocidad en rev por seg
f=Wm*Ws/60;
w=2*pi*f;
R=rs+Rc;
cora4
l=lasa;
l1=lbsa;
% fase A
% las
Xc=eps;
An=8*pi/60;
Xt=theta
theta=4*pi/w; % en seg
ttr=pi/2; % desfase de rotores
ceros
fp
t=0: paso: theta;
Xpota=zeros(t);
Xpotb=zeros(t);
volta=zeros(t);
voltb=zeros(t);
for n=1:2:na
labs
lasres=ias;
lbsres=ibs;
volta=iasres.*Rc;
masva=max(volta);
menosva=min(volta);
masla=max(iasres);
menosla=min(iasres);
voltb=lbsres.*Rc;
masib=max(lbsres);
menosib=min(lbsres);
masvb=max(voltb);
menosvb=min(voltb);
% torque
la=iasres;
lb=lbsres;
torque
varms=iarms.*Rc;
vbrms=ibrms.*Rc;
end
vas=volta;vbs=voltb;
pactiva
paparena
preacta
pactivb
paparenb
preactb

```

```

cora2
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('
resul
disp('')
fprintf('          Rcarga =%8.4g Ω.\n\n',Rc),
fprintf('          fpa   =%4.3g \n\n',fpa*FP),
fprintf('          fpb   =%4.3g \n\n',fpb*FP),
pause
t=t+1000;
clg
dcorri
dvolta
text (.45,.98,'CARGA R','sc')
meta realstiv
pause
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('
ria
disp('')
disp('
disp('
disp('
rib
pause
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
rva
disp('')
disp('
disp('
disp('
rvb
pause
clg
pgtc
text(.45,.98,'CARGA R','sc')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp('

```

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA RESISTIVA

Rcarga =%8.4g Ω.\n\n',Rc),
fpa =%4.3g \n\n',fpa*FP),
fpb =%4.3g \n\n',fpb*FP),

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA RESISTIVA PARA Iaa

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA RESISTIVA PARA Iba

RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA RESISTIVA PARA Vas

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA RESISTIVA PARA Vba

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "R"

```

disp('')
rpacta
disp('')
disp('
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "R" ')
disp('
disp('')
rpactb
pause
clc
disp('
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "R" ')
disp('
disp('')
rpreacta
disp('')
disp('
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (b) CARGA "R" ')
disp('
disp('')
rpreactb
pause
clg
pasc
Xdtorquea
Xdtorqueb
text(.45,.98,'CARGA R','sc')
Xtext(.38,.01,'TORQUE ELECTROMAGNETICO','sc')
Xtext(.42,.49,'POTENCIA APARENTE','sc')
meta
pause
clc
disp('
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (a) CARGA "R" ')
disp('
disp('')
rpaparea
disp('')
disp('
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (b) CARGA "R" ')
disp('
disp('')
rpapareb
pause
clc
cartorq
s=1;n=0;S=1;M=0;
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')

```



```

disp('')
disp('')
impri=input('          DESEA IMPRIMIR LOS GRAFICOS  s/n=? ');
    if impri==s | impri==S
       clc
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('
        DIGITE LA LETRA "R" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB
        ')
        cora3
    elseif impri==n | impri==N
        delete resistiv.mat
    end
clear
pack
clc

%FRC.M
clc
clear
clg
pack
%flc.m
disp('')
dlsap('')
disp('')
dlsap('')
disp('')
dlsap('')
disp('')
dlsap('')
disp('')
dlsap('')
disp('
CALCULO DE VOLTAJE, CORRIENTE, POTENCIA Y TORQUE
DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA CAPACITIVA
')
pause (2)
coral
clc
ttipico
na
datmaq
C=0;Rc=0;
dmaq
while Rc<=0
Rc=input('    "Rc>0"          Rcarga (Ω)=?');
end
while C<=0
C=input('    "C>0"          Ccarga (μF)=?');
end

```

```

Wn=Ww/60;% velocidad en rev por seg
Cc=C*L.e-6*eps;
f=Wm*Ns/60;
w=2*pi*f;
Ln=8*L0/pi^2;
R=(Rc+rs);
A=R/(w*Lasa);
B=1/(Cc*w^2*Lasa);
A1=R/(w*Lbsa);
B1=1/(Cc*w^2*Lbsa);
Xc=1/(w*Cc);
L=Lasa;
L1=Lbsa;
cora4
% fase A
% Iaa
% It=theta
theta=4*pi/w; %en seg
ttr=pi/2; %desfase entre rotores
Xl=0+eps;
ceros
fp
t=0:paoo:theta;
itiaac=zeros(t);
vasrc=zeros(t);
itibac=zeros(t);
vbsrc=zeros(t);
for n=1:2:na
integ3
iasrc=ias;
ibarc=iba;
masia=max(iasrc);
menosia=min(iasrc);
masib=max(ibarc);
menosib=min(ibsrc);
% Vaa
vasrc=-(Rc.*iasrc+itiaac./(w.*Cc));
vas=vasrc;
masva=max(vasrc);
menosva=min(vasrc);
paparena
pactiva
preacta
%fase B
%Vbs
vbsrc=-(ibsrc.*Rc+itibsc./(w.*Cc));
vbs=vbsrc;
masvb=max(vbsrc);
menosvb=min(vbsrc);
paparenb
pactivb
preactb
%torque
la=iasrc;
lb=ibarc;
torque

```

```

end
cora2
t=t*1000;
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
resul
disp('')
fprintf('          Rcarga =X8.4g Ω.\n\n',Rc),
fprintf('          Ccarga =X8.4g μF.\n\n',C),
pause
clg
dcorrl
dvolta
text(.45,.98,'CARGA "R-C"', 'sc')
meta reacap
pause
clc
disp('')
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('
disp('')
ria
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('')
rib
pause
clc
disp('')
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('')
rva
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('')
ryb
pause
clg
pqtc
text(.43,.98,'CARGA R-C"', 'sc')
meta
pause
clc
disp('

```

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA R - C

Rcarga =X8.4g Ω.\n\n,Rc),
Ccarga =X8.4g μF.\n\n,C),

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA R - C PARA Iaa

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA R - C PARA Iba

RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA R - C PARA Vaa

RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA R - C PARA Vba

```

disp('
disp('
disp(')
rpacta
disp(')
disp('
disp(')
disp(')
rpactb
pause
clc
disp('
disp('
disp(')
disp(')
rpreacta
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
rpreactb
pause
clg
pste
text(.43,.98,'CARGA R-C', 'sc')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp(')
disp(')
rpaparea
disp(')
disp(')
disp(')
disp(')
rpapareb
pause
clc
cartorg
a=1;n=0;S=1;N=0;
clc
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')
dasp(')

```

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "R-C"

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "R-C"

RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "R-C"

RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (b) CARGA "R-C"

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (a) CARGA "R-C"

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (b) CARGA "R-C"

```

impri=input(' DESHA IMPRIMIR LOS GRAFICOS s/n=? ');
if impri==s ; impri==5
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('
DIGITE "RC" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB
')
disp('
cora3

elseif impri ==n ; impri==N
delete rescap.met
end

clear
pack
clc

%FRL.M
clc
clear
clg
pack
%frl.m
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('
CALCULO DE VOLTAJE, CORRIENTE, POTENCIA Y TORQUE
DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA INDUCTIVA
')
disp('
pause (2)
cora1
clc
ttipico
na
datmaq
Rc=0;Lc=0;
dmaq
while Rc<=0
Rc=input(' "Rc>0" Rcarga (Q)=?');
end
while Lc<=0
Lc=input(' "Lc>0" Lcarga (H)=?');
end

```

```

Wn=Wm/60; % velocidad en rev por seg
f=Wm*Ws/60;
w=2*pi*f;
R=(Rc+rs);
l=(Lc+Lass);
An=8*L0/pi^2;
Ll=(Lc+Lbss);
Xl=2*pi*f*Lc+eps;
Xc=eps;
cora4
% fase A
% las
Xt=theta;
theta=4*pi/w; % en seg
ttr=pi/2; % desfase de rotores
ceros
fp
t=0:pasos:theta;
vasrl=zeros(t);
vbsrl=zeros(t);
diasrl=zeros(t);
dibsrl=zeros(t);
for n=1:2:na
iasrl
iasrl=ias;
ibsrl=ibs;
masia=max(iasrl);
menosia=min(iasrl);
diasrl=diasrl+(ip.*w.*An.*n.^2).*(n.*w.*L.*sin(n.*t.*w))+R.*cos(n.*t.*w))/(R.^2+(n.*w.*L).^2);
% Vas
vasrl=-(iasrl.*Rc+Lc.*w.*diasrl);
vas=vasrl;
masva=max(vasrl);
menosva=min(vasrl);
paparena
pactiva
preacta
% fase B
% lbs
maslb=max(lbsrl);
menoslb=min(lbsrl);
dibsrl=dibsrl+(ip.*w.*An.*n.^2).*(n.*w.*Ll.*sin(n.*(t.*w-ttr))+R.*cos(n.*(t.*w-ttr)))/(R.^2+(n.*w.*Ll).^2);
% Vbs
vbsrl=-(lbsrl.*Rc+Lc.*w.*dibsrl);
vbs=vbsrl;
masvb=max(vbsrl);
menosvb=min(vbsrl);
paparenb
pactivb
preactb
% Vrms
ab=(n.*ip.*w.*An)./(R.^2+(n.*w.*L).^2);
bb=(w.^2.*Lc.*n.^2.*l+Rc.*R);
cb=w.*Lc.*n.*R-Rc.*n.*w.*L;
varms=varms+(ab./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(cb.^2-bb.^2)+2.*n.*tt.*(bb.^2+cb.^2)+4.*bb.*cb.*(sin(tt.*n)).^2)
;

```

```

%Vrms fase b
AB=(n.*ip.*w.*AM)/(R.^2+(n.*w.*L).^2);
CB=(w.*Lc.*n.*R-Rc.*n.*w.*L);
BB=w.^2.*Lc.*n.^2.*L.*R.*Rc;
vbrms=vbrms+(AB./sqrt(4.*n.*(tt+eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(CB.^2-BB.^2)+2.*n.*tt.*(BB.^2+CB.^2)+4.*BB.*CB.*(sin(tt.*n)).^2)
;
%torque
Ia=Iasr1;
Ib=Ibsr1;
torque
end
cora2
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
result
disp('')
[printf('
[printf('
pause
t=1000*t;
clc
clg
dcorri
dvolta
text(.45,.98,'CARGA R-L','sc')
meta residuo
pause
clc
disp('')
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('')
ria
disp('')
disp('
disp('
disp('
disp('')
rIb
pause
clc
disp('')
disp('')
disp('
disp('
disp('')
rva
disp('')
disp('
disp('

```

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA R - L

```

Rcarga =%8.4g Q.\n\n',Rc),
Lcarga =%8.4g H.\n\n',Lc),

```

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA R - L PARA Ia

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA R - L PARA Ib

RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA R - L PARA Vas

RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA R - L PARA Vbs

```

disp('
disp(')
rvb
pause
clg
pgtc
text(.43,.98,"CARGA R-L", 'bc')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp(')
rpacta
disp(')
disp('
disp('
disp(')
rpactb
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp(')
rpreacta
disp(')
disp('
disp('
disp(')
rpreactb
pause
clg
pste
text(.43,.98,"CARGA R-L", 'ac')
meta
pause
clc
disp('
disp('
disp('
disp(')
rpaparea
disp(')
disp('
disp('
disp(')
rpapareb
pause
clc
cartorg
s=1;n=0;S=1;N=0;

```

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "R-L"

RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "R-L"

RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "R-L"

RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (b) CARGA "R-L"

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (a) CARGA "R-L"

RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (b) CARGA "R-L"


```

na
datmaq
Rc=0; Lc=0; C=0;
dmaq
while Rc<=0
Rc=input('   Rc>0'           Rcarga (Ω)=?');
end
while Lc<=0
Lc=input('   Lc>0'           Lcarga (H)=?');
end
while C<=0
C=input('   Cc>0'           Ccarga (μF)=?');
end
Nn=Nw/60; % velocidad en rev por seg
f=Nn*Na/60;
Cc=C*1.e-6*eps;
w=2*pi*f;
R=(Rc+ra);
L=(Lc+las);
Ll=(Lc+lbas);
A=R/(w*L);
B=1/(Cc*w^2*L);
Al=R/(w*Ll);
Bl=1/(Cc*w^2*Ll);
Xl=w*Lc; Xc=1/(w*Cc);
An=8*Lc/pi^2;
fp
cora4
% fase A
% ias
Xt=theta;
theta=4*pi/w;
ttr=pi/2;
ceros
t=0:paso:theta;
vasrlc=zeros(t);
vbsrlc=zeros(t);
dia=zeros(t);
itiasc=zeros(t);
dib=zeros(t);
itibsc=zeros(t);
for n=1:2:na
Integ2
deril
iarlc=ias;
lbrlc=ibs;
masia=max(iarlc);
menosia=min(iarlc);
masib=max(lbrlc);
menosib=min(lbrlc);
% Vas
vasrlc=-(iarlc*Rc+itiasc/(Cc*wl+Lc*w*dia);
masva=max(vasrlc);
menosva=min(vasrlc);
vas=vasrlc;
pactiva

```

```

paparena
preacta
%fase B
%Ibs
%Vbs
vbsrlc=(ibrcl*Rc+itibsc/(Cc*w)+Lc*w*dib);
masvb=max(vbsrlc);
menosvb=min(vbsrlc);
vbs=vbsrlc;
pactivb
paparenb
preactb
%rms fase a
%torque
la=iarlc;
lb=lbrlc;
torque
end
%fp
cora2
t=t*1000;
clc
disp('
disp('
disp('
resul
disp(')
fprintf('
fprintf('
fprintf('
pause
clg
dcorri
dvolta
text(.40,.98,'CARGA R-L-C', 'sc')
meta rlc
pause
clc
disp(')
disp(')
disp('
disp('
disp('
disp(')
ria
disp(')
disp('
disp('
disp(')
rib
pause
clc
disp(')
disp(')
disp('

```

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA "R-L-C"

```

Rcarga =%8.4g Ω.\n\n',Rc),
Lcarga =%8.4g H.\n\n',Lc),
Ccarga =%8.4g μF.\n\n',C),

```

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA "R-L-C" PARA Ias

RESULTADOS DEL ANALISIS CON CARGA "R-L-C" PARA Ibs

```

disp(' RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA "R-L-C" PARA Vaa ')
disp(' ')
disp('')
rva
disp('')
disp(' RESULTADO DEL ANALISIS CON CARGA "R-L-C" PARA Vbs ')
disp(' ')
disp('')
rvb
pause
clg
pgtc
text(.42,.98,'CARGA R-L-C','sc')
meta
pause
clc
disp(' ')
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (a) CARGA "R-L-C" ')
disp(' ')
disp('')
rpacta
disp('')
disp(' ')
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA ACTIVA (b) CARGA "R-L-C" ')
disp(' ')
disp('')
rpactb
pause
clc
disp(' ')
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (a) CARGA "R-L-C" ')
disp(' ')
disp('')
rpreacta
disp('')
disp(' ')
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA REACTIVA (b) CARGA "R-L-C" ')
disp(' ')
disp('')
rpreactb
pause
clg
pstc
text(.42,.98,'CARGA R-L-C','sc')
meta
pause
clc
disp(' ')
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (a) CARGA "R-L-C" ')
disp(' ')
disp('')
rpaparea
disp('')
disp(' ')
disp(' RESULTADOS DE POTENCIA APARENTE (b) CARGA "R-L-C" ')

```

```

disp('
disp('')
rparareb
pause
clc
cartorq
cartorq
s=1;n=0;S=1;N=0;
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
impri=input('
                DESEA IMPRIMIR LOS GRAFICOS a/n=? ');
    if impri==a | impri==S
        clc
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('')
        disp('
                *****
                DIGITE "RLC" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB
                *****
                ')
        cora3
        elseif impri==n | impri==M
            delete rlc.met
            end

clear
pack
clc

%FVACIO.M

clc
clear
clg
pack
%fvacio.m
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')

```

```

disp('
disp('
disp('
disp('
disp('
pause (2)
cora5
clc
ttipico
na
datmaq
Wn=Wn/60; % velocidad en rev por seg
f=Wn*Ns/60;
w=2*pi*f;
An=8*Lo/pi^2;
cora4
% fase A
% vas
% i=theta
theta=4*pi/w; % en seg
ttr=pi/2; % desfase de rotores
t=0:pasos:theta;
avac=zeros(t);
bvac=zeros(t);
varms=zeros(t);
vbrms=zeros(t);
for n=1:2:na
AN=An.*(cos(n.*pi./4)-cos(3.*n.*pi./4))/n.^2;
avac=avac-AN.*w.*ip.*n.*sin(n.*t.*w);
    masva= max(avac);
    menosva= min(avac);
% fase B
% vbs

bvac=bvac-AN.*w.*ip.*n.*sin(n*(w.*t-ttr));
    masvb= max(bvac);
    menosvb= min(bvac);
% rms fase a
tt=theta.*w;
I=ip.*n.*AN.*w;
varms=varms+I/sqrt(tt*eps).*sqrt((tt/2)-sin(2.*n.*tt)/(4.*n.*w));
vbrms=vbrms+I/sqrt(tt*eps).*sqrt((tt/2)-sin(2.*n.*tt-ttr)/(4.*n.*w));
end
varms=abs(varms);vbrms=abs(vbrms);
vas=avac; vbs=bvac;
cora2
clc
disp('')
disp('
disp('
disp('
resul
pause
t=1000*t;
dvoltal
shg

```

CALCULO DE VOLTAJE DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA EN VACIO

DATOS DE ANALISIS EN VACIO

```

text(.48,.98,'VACIO','sc')
meta vacio
pause
clc
disp('')
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS DE VACIO PARA Vas
')
disp('')
rva
disp('')
disp('
RESULTADOS DEL ANALISIS DE VACIO PARA Vbs
')
disp('')
rvb
pause
s=1;n=0;S=1;N=0;
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
impri=input('
DESEA IMPRIMIR LOS GRAFICOS s/n=? ');
if imprí==s ; imprí==S
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('
DIGITE "VACIO" AL SALIR DEL PROGRAMA MATLAB
')
cora3
elseif imprí==n ; imprí==N
delete vacio.met
end

clear
pack
clc
%GC.M
meta capacit
!gpp capacit /depsf /fprn
delete capacit.met
%GCARAC.M
meta laap

```

```
!gpp laps /depsf /fprn
delete laps.met
%GCORTO.M
meta corto
!gpp corto /depsf /fprn
delete corto.met
%GDCORRI.M
plot(t,ias,'-r',t,ibs,'-g')
title('Corriente las y lbs')
xlabel('t en ms')
ylabel('Corriente en A')
text(.84,.20,'- las','sc')
text(.84,.15,'- lbs','sc')
grid
%GDCORRI.M
clc
plot(t,ias,'-r',t,ibs,'-g')
title('Corriente las y lbs')
xlabel('t en ms')
ylabel('Corriente en A')
text(.84,.20,'- las','sc')
text(.84,.15,'- lbs','sc')
grid
```

```
%GDEMLIST.M
```

```
clc
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
X
```

```
clc
```

```
%GDTORA.M
```

```
clc
```

```
plot(t,torquea,'-r')
```

```
xlabel('t en ms')
```

```
ylabel('Torque en Nm')
```

```
text(.84,.15,'Fase a','sc')
```

```
title('TORQUE ELECTROMAGNETICO')
```

```
grid
```

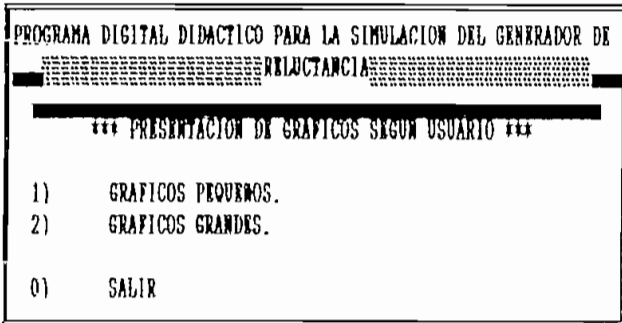
```
%GDTORB.M
```

```
clc
```

```
plot(t,torqueb,'-g')
```

```
xlabel('t en ms')
```

```
ylabel('Torque en Nm')
```




```

text(.84,.15,'fase b','sc')
title('TORQUE ELECTROMAGNETICO')
grid
%GDVOLI.M
plot(t,vas,'-r',t,vbs,'-g')
title('Voltaje Vas y Vbs')
xlabel('t en ms')
ylabel('Voltaje en V')
text(.84,-20,'- Vas','sc')
text(.84,-15,'- Vbs','sc')
grid
%GDVOLT.A.M
clc
plot(t,vas,'-r',t,vbs,'-g')
title('Voltaje Vas y Vbs')
xlabel('t en ms')
ylabel('Voltaje en V')
text(.84,-20,'- Vas','sc')
text(.84,-15,'- Vbs','sc')
grid
%GL.M
meta induct
!gpp induct /depsf /[prn
delete induct.met
%GLC.M
meta inducap
!gpp inducap /depsf /[prn
delete inducap.met
%CMOTOR.M
meta motor
!gpp motor /depsf /[prn
delete motor.met

%GPSIMUL.M
echo off
% LISTA de menú para la simulación del generador de reluctancia
% Quito diciembre 1992 - 1993
% Escuela Politécnica Nacional. Quito - Ecuador.
% Facultad de Ingeniería Eléctrica
% Sistemas Eléctricos de Potencia
% Revisado por Ing. Luis Taco Villalba
% Por Ludwig A. Ramírez Pazmiño
clear
while 1
clc
        demol= ['simul '
                'gsimul'];
        clc
        help gdemlist
        n=input(' SELECCIONE EL TIPO:?' );
        if ((n <=0) | ( n > 2))
            break
        end

        demol=demol(n,:);
        eval(demol)

```

```

clear
end
clc

%GR.M
meta resistiv
!gpp resistiv /depsf /fprn
delete resistiv.met
%GRAFLIST.M
clc

```

```

*** IMPRESION DE GRAFICOS DE LA MAQUINA DE ***
RELUCTANCIA
1) CARACTERISTICAS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA.
2) GENERADOR EN VACIO.
3) GENERADOR CON CARGA RESISTIVA.
4) GENERADOR CON CARGA INDUCTIVA.
5) GENERADOR CON CARGA CAPACITIVA.
6) GENERADOR CON CARGA RESISTIVA - INDUCTIVA.
7) GENERADOR CON CARGA RESISTIVA - CAPACITIVA.
8) GENERADOR CON CARGA CAPACITIVA - INDUCTIVA.
9) GENERADOR CON CARGA R - L - C.
10) GENERADOR EN CORTOCIRCUITO.
11) ANALISIS DEL MOTOR DE RELUCTANCIA.
0) SALIR.

```

```

clc
%GRC.M
meta reescap
!gpp reescap /depsf /fprn
delete reescap.met
%GRL.M
meta reslnduc
!gpp reslnduc /depsf /fprn
delete reslnduc.met
%GRLC.M
meta rlc
!gpp rlc /depsf /fprn
delete rlc.met
%GSIMUL.M
echo off
X LISTA de menú para la simulación del generador de reluctancia
X Quito diciembre 1992 - 1993
X Escuela Politécnica Nacional. Quito - Ecuador.
X Facultad de Ingeniería Eléctrica
X Sistemas Eléctricos de Potencia
X Revisado por Ing. Luis Taco Villalba
X Por Ludwig A. Ramírez Pazmiño
clear
while 1
clc
demol= ['gfinduc

```

```

'gfvacio '
'gfr '
'gfl '
'gfc '
'gfrl '
'gfrc '
'gflc '
'gfrlc '
'gfcorto '
'gfmotor '
'ayuda '];

clc
help demolist
n=input(' SELECCIONA EL CASO A SIMULAR: ? ');
if ((n <= 0) | ( n > 12))
    break
end

demol=demol(n,:);
eval(demol)
clear

end
clc

%GVACIO.M
meta vacio
!gpp vacio /depsf /fprn
delete vacio.met
%LABS.M
AN=An.*(cos(n.*pi./4)-cos(3.*pi.*n./4))/n.^2;
ias=ias+(ip.*w.*AN*n)*(-n.*w.*L.*cos(n.*t.*w)+R.*sin(n.*t.*w))/(R.^2+(n.*w.*L).^2);
%fase B
%Ibs
ibs=ibs+(ip.*w.*AN.*n).*(-n.*w.*L.*cos(n.*(w.*t-ttr))+R.*sin(n.*(w.*t-ttr)))/(R.^2+(n.*w.*L).^2);
%rms fase a
A=R./(w.*L);
B=ip.*n.*AN./L;
a=B/(A.^2+n.^2);
b=A;
c=n;
tt=theta*w;
iarms=iarms+(a./sqrt(4.*n.*(tt*eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(c.^2-b.^2)+2.*n.*tt.*(b.^2+c.^2)-4.*b.*c.*(sin(tt.*n)).^2);
iarms=abs(iarms);
%rms fase b
A1=R./(w.*L1);
B1=ip.*n.*AN./L1;
a1=B1/(A1.^2+n.^2);
b1=A1;
c1=n;
ibrms=ibrms+(a1./sqrt(4.*n.*(tt*eps))).*sqrt(sin(2.*n.*tt).*(c1.^2-b1.^2)+2.*n.*tt.*(b1.^2+c1.^2)-4.*b1.*c1.*(sin(tt.*n)).^2);
;
ibrms=abs(ibrms);

%WINDU.M
clc
disp('')

```



```

disp('          INGRESA EN NUMERO DE ESPIRAS DE CAMPO Y ARMADURA ');
disp('          ');
disp('');
while Wp<=0
Wp=input('          Número de espiras de campo      =?');
end
while Ws<=0
Ws=input('          Número de espiras de armadura    =?');
end
disp('')
disp('')
seguro=input('          ESTA SEGURO DE LOS DATOS s/n=?');
if seguro==n ; seguro==N
clc
Wp=0;Ws=0;
end
end
seguro=0;s=1;S=1;W=0;n=0;
while seguro==n ; seguro==N
clc
disp('')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('          INGRESA LAS DIMENSIONES FISICAS DEL GENERADOR ');
disp('          ');
disp('          ');
disp('');
while gg<=0
gg=input('          Distancia máxima entre polos del estator      "D" (mm) =?');
end
while diame<=0 ; diame>=gg
diame= input('          Diámetro del Rotor          "d" (mm) =?');
end
while sector<=0 ; sector>diame
sector=input('          Cuerda del Sector del Rotor y/o Estator      "cd" "S" (mm) =?');
end
while ancho<=0
ancho=input('          Longitud del Rotor y/o Estator          "L" (mm) =?');
end
disp('')
disp('')
seguro=input('          ESTA SEGURO DE LOS DATOS s/n=?');
if seguro==n ; seguro==N
gg=0;diame=0;sector=0;ancho=0;
end
end
seguro=0;n=0;W=0;S=1;s=1;
%LÍNEAS
AN=An.*(cos(n.*pi./4)-cos(3.*n.*pi./4))/n.^2;
% corriente a
Cl=AN.*n.^2.*ip./L;
Ias=Iasc+Cl.*(n.*A.*sin(n.*t.*w)+(B-n.^2).*cos(n.*t.*w))/((A.*n).^2+(B-n.^2).^2);
%integral
ItIasc=Itiasc+Cl.*(-A.*cos(n.*t.*w)+((B-n.^2)./n).*sin(n.*t.*w))./((A.*n).^2+(B-n.^2).^2);
C11=AN.*n.^2.*ip./L;

```



```

echo
echo
echo
echo
echo
gpp induct /depsd /lprn
delete induct.met
cls
%WA.M
clc
paso=0.0001;na=0;
while na <10 | na>100
clc
disp('')
disp('')
disp('          RANGO DE TERMINOS A ANALIZAR PARA INTEGRACION 10 < n < 100')
disp('')
disp('')
na=input('          Número de términos a analizar =?');
end
%PACTIVA.M
pa=vas.*ias.*cos(fpa.*FP);
Xpa=ias.^2.*R;
medpa=mean(pa);
minpa=min(pa);
maxpa=max(pa);
%PARABOL.M
sb=vbs.*ibs;
Xsb=sqrt(R.^2+(Xl-Xc).^2).*ibs.^2;
medsb=mean(sb);
minsb=min(sb);
maxsb=max(sb);
%PRRECTA.M
qa=ias.*vas.*sin(fpa.*FP);
Xqa=ias.^2.*(Xl-Xc);
medqa=mean(qa);
minqa=min(qa);
maxqa=max(qa);
%PTCA.M
clc
subplot(221),plot(t,sa,'-r')
title('S Fase "a"')
xlabel('t en ms')
ylabel('S en VA')
grid
subplot(222),plot(t,sb,'-g')
title('S Fase "b"')
xlabel('t en ms')
ylabel('S en VA')
grid
text(.42,.49,'POTENCIA APARENTE','sc')
text(.35,.01,'TORQUE ELECTROMAGNETICO','sc')
dtorquea
dtorqueb
%PTCA.M
clc

```

<p>IMPLEMENTANDO! CARGA INDUCTIVA</p>

```

plot(t,pa,'-r')
title('POTENCIA ACTIVA')
xlabel('t en ms')
ylabel('P en W')
text(.80,.20,'Fase a','sc')
grid

```

```

%QTCA.M
clg
plot(t,qa,'-r')
title('POTENCIA REACTIVA')
xlabel('t en ms')
ylabel('Q en VAR')
text(.80,.20,'Fase a','sc')
grid

```

```

%RESUL.M
fprintf('      Lasa =%8.4g H.\n\n',Lasa),
fprintf('      Lbss =%8.4g H.\n\n',Lbss),
fprintf('      Lo =%8.4g H.\n\n',Lo),
fprintf('      rs =%8.4g Ω.\n\n',rs),
fprintf('      If =%8.4g A.\n\n',ip),
fprintf('      velocidad del rotor =%8.4g r.p.m.\n\n',Nm),
fprintf('      número de polos =%8.4g \n\n',Na),
fprintf('      frecuencia de salida=%8.4g Hz.\n',f),

```

```

%STCA.M
clg
plot(t,sa,'-r')
title('POTENCIA APARENTE')
xlabel('t en ms')
ylabel('S en VA')
text(.80,.20,'Fase a','sc')
grid

```

```

%TIPICO.M
disp('          MAQUINA 1 [10]')
disp('')
disp('      Número de vueltas de campo = 80')
disp('      Número de vueltas de armadura= 250')
disp('      Lpp = 0.053      H')
disp('      Lasa= 0.251      H')
disp('      Lbss= 0.259      H')
disp('      Lo = 0.06795     H')
disp('      rs = 10.5        Ω')
disp('      rp = 1.9         Ω')
disp('      If = 2           A')
disp('      Número de polos 2')
disp('      MAQUINA 2 [5]          MAQUINA 3 [6]')
disp('')
disp('      Número de espiras de campo= 780          Número de espiras de campo= 1500')
disp('      Número de vueltas de armadura= 1744      Número de espiras de armadura=2640')
disp('      Lpp = 0.2      H          Lpp = 1.33      H')
disp('      Lasa= 0.5      H          Lasa= 2.06      H')
disp('      Lbss= 0.5      H          Lbss= 2.06      H')
disp('      Lo = 0.9      H          Lo = 1.66      H')

```



```

disp('rs = 1      Q')
disp('rp = 0.3    Q')
disp('lf = 0.8    A')
disp('Número de polos 2      Número de polos 2');pause

```

XTORQUE.M

```

torquea=torquea-.5.*la.^2.*AM.*n.*sin(n.*t.*w);
mastora=max(torquea);
mintora=min(torquea);
medtora=abs(mean(torquea));
torqueb=torqueb-.5.*lb.^2.*AM.*n.*sin(n.*(t.*w-tt));
mastorb=max(torqueb);
mintorb=min(torqueb);
medtorb=abs(mean(torqueb));

```

XUSO.M

```

clc
disp('
disp(' PROGRAMA DIGITAL DIDACTICO PARA LA SIMULACION DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA ')
disp('
disp('INTRODUCCION.- El programa cuenta con un menú de opciones del caso a simular')
disp('en el cual el usuario puede escoger la opción deseada presionando un número')
disp('y a continuación "ENTER".')
disp('Los datos se introducen en valores físicos reales de la máquina como son')
disp('voltaje (V), corriente (A), número de polos, velocidad del rotor (r.p.m)')
disp('frecuencia (Hz), inductancia (h), capacitor (µF), y resistencias (Ω).')
disp('En los datos debe entenderse los siguientes términos:')
disp('"Lasa" inductancia de armadura de la fase "a" de la máquina.')
disp('"Lbsa" inductancia de armadura de la fase "b" de la máquina; Lasa y Lbsa ')
disp('por lo general son iguales, para fines del programa se hace que el usuario')
disp('observe la variación de esta inductancia y el efecto que produce en la máquina')
disp('"Lo" es la inductancia máxima de acoplamiento entre el campo y la armadura por')
disp('fase; "lpp" la inductancia de campo, "rp" resistencia de la bobina de campo que')
disp('está dado por el número de vueltas de la bobina de campo.')
disp('"ra" resistencia propia de la máquina en la armadura debido al efecto del ')
disp('arrollamiento de la bobina, el que está dado por el número de vueltas en la')
disp('armadura. "lp" corriente de campo de excitación del generador, por medio de')
disp('la Ley de OHM se puede obtener está corriente si se dispone del voltaje de')
disp('excitación y de la resistencia limitadora en el campo (Rf+rp).')
disp('
"ENTER" para continuar')
pause
clc
disp('"Número de polos" se considera un número de pares de polos que puede eventual-')
disp('mente poseer la máquina para el presente caso Ns=1.')
disp('"velocidad" es la velocidad con que gira el rotor por efecto de la máquina ')
disp('motriz ó de una turbina.')
disp('"frecuencia" está es aplicada para la simulación de motor y es la frecuencia ')
disp('propia de la alimentación del voltaje de la red por lo general 60 Hz, para el ')
disp('caso del generador es la frecuencia de salida de voltaje y corriente según el ')
disp('caso. Para la carga se realiza la simulación de las combinaciones R, L, C.')
disp('')
disp('Los resultados se imprimiran presionando la tecla "Print Screen" .')
disp('Para imprimir los gráficos, previamente se cargar el archivo "GRAPHICS.COM" del')
disp('Sistema Operativo DOS, al ingresar al programa general con "RELUCh", donde "h"')

```

```

disp('es "a", o "b" de acuerdo al drive utilizado, si es disco duro, se tipea DDRELUJC')
disp('Los gráficos se imprimen de igual manera que los resultados ("Print Screen")')
disp('siempre y cuando se disponga de un monitor CGA, VGA, SVGA, los cuales salen')
disp('impresos tipo borrador, pero si necesita de mayor calidad, imprima con el')
disp('menú de impresión de gráficos y elija el gráfico según el caso ya simulado.')
disp('caso contrario, si se dispone de un monitor monocromático o un computador XT')
disp('una vez realizada la simulación de cualquier de los casos, el programa crea')
disp('archivos con la extensión ".MKT", los cuales son los gráficos creados en cada')
disp('caso, para imprimir se sale del programa con "0 (cero) y "quit" ó "Ctrl Z" ')
disp('y se digita según el siguiente cuadro; si desea imprimir presione "Print Screen" ')
disp('
      "ENTER" para continuar')

```

```

pause
clc
disp('')
disp('')
disp('')

```

No.	CASO	DIGITE
2	CARACTERISTICA DEL GENERADOR.....	INDUC
3	GENERADOR EN VACIO.....	VACIO
4	GENERADOR CON CARGA RESISTIVA.....	R
5	GENERADOR CON CARGA INDUCTIVA.....	L
6	GENERADOR CON CARGA CAPACITIVA.....	C
7	GENERADOR CON CARGA RESISTIVA INDUCTIVA...	RL
8	GENERADOR CON CARGA RESISTIVA CAPACITIVA..	RC
9	GENERADOR CON CARGA CAPACITIVA INDUCTIVA..	CL
10	GENERADOR CON CARGA R - L - C	RLC
11	GENERADOR EN CORTOCIRCUITO	CORTO
12	ANALISIS DEL MOTOR DE RELUCTANCIA.....	MOTOR

```

disp('
      "ENTER" para continuar')

```

```

pause
clc
disp('Todos estos archivos llaman a un programa exterior de impresión llamado GPP')
disp('éste realiza la impresión seriada de cada gráfica que se observó en pantalla')
disp('estos pueden ser impresos en cualquier instante mientras se trabaja o cuando')
disp('Ud. salga totalmente del programa, luego de imprimir los gráficos, el')
disp('subprograma los borra, y crea nuevos gráficos el instante que se ejecute ')
disp('nuevamente el programa "RELUJC".')

```

```

disp('')
disp('Se deja la alternativa para los usuarios que tengan computador tipo XT o')
disp('monitores monocromáticos el cambiar el comando de impresión de gráficos,')
disp('por defecto se imprime con calidad de gráficos tipo borrador, pero puede')
disp('cambiarlo a alta calidad de acuerdo a lo siguiente:')
disp('Los archivos exteriores de impresión tiene la extensión ".bat", por ejemplo')
disp('Para vacio es "vacio.bat", en su interior dice:')

```

```

disp('')
disp('
      "gpp vacio /depsd /fprn")
disp('')
disp('y para obtener alta calidad de gráficos cambie "depsd" por "depsf")

```

```
disp('el inconveniente de esto es que el tiempo de impresión es mayor que en ')
disp('calidad de borrador.')
disp('')
disp('')
disp('')
disp('      "ENTER" para continuar')
pause
```

CAPITULO IV

PRUEBAS DE LABORATORIO

4.1 MEDICION DE PARAMETROS

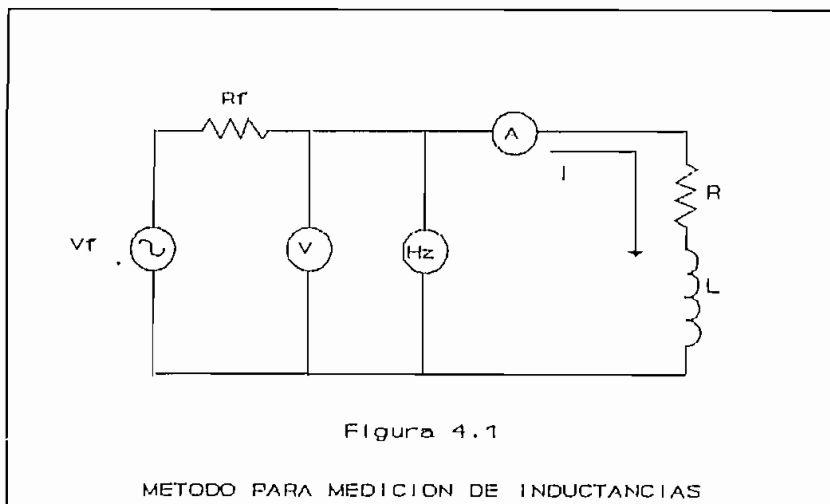
La obtención de los parámetros básicos del generador se lo realiza con la obtención de las características de circuito abierto y de cortocircuito como se analizará más adelante.

La posición de los rotores es importante por que de esta depende el desfase existente de 90° entre fases tanto de voltaje como de corriente. un desfase entre rotores produce una distorsión de las formas de onda tanto de voltaje como de corriente.

Por ser un circuito magnético existe el acoplamiento mutuo entre el campo y cada una de las fases, por lo que se necesita el valor del acoplamiento máximo L_0 . el que da la característica principal al Generador de Reluctancia.

4.1.1 MEDICION DE INDUCTANCIAS DE CAMPO Y FASES. [11]

La medición de las inductancias de campo L_{PP} y de armadura por fase $L_{a^{ee}}$, $L_{b^{ee}}$, se realiza a voltaje de campo constante y frecuencia variable, tomando los valores correspondientes de V, I, f y se obtiene el valor de la inductancia por medio del siguiente circuito:



Planteando la ecuación voltamperimétrica al circuito se tiene:

$$\frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

de donde :

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{V}{I}\right)^2 - R^2} \quad \text{donde} \quad \omega = 2\pi f$$

la ecuación muestra que se necesita tomar el valor de R que es la resistencia interna propia de la inductancia de campo o armadura.

La obtención de esta resistencia se realiza aplicando voltaje DC sobre la bobina y midiendo la corriente, para lo cual se aplica la ley de OHM, o a su vez por medio de la medición directa por medio del Ohmetro digital.

Por el hecho de ser excitado el generador con voltaje DC el campo no posee inductancia tal como se analizó en el capítulo 1, para el caso de analizar las características del generador es importante tener en cuenta la inductancia de primario como también del número de vueltas que posee cada bobina tanto en el campo como en la armadura.

Cabe mencionar que L_{ass} y L_{bss} por lo general son iguales pero por el hecho de ser una máquina construida prácticamente sin una alta tecnología está posee ciertas diferencia en la construcción, por lo que los parámetros dados se toman como promedios, estas inductancias variarán de acuerdo a la frecuencia de salida y la forma de onda propia de cada fase como se observa mas adelante. A continuación se tabula los resultados obtenidos en laboratorio y las inductancias promedio de la máquina.

CALCULO DE LAS INDUCTANCIAS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA
SE REALIZA A FRECUENCIA VARIABLE Y VOLTAJE CONSTANTE

INDUCTANCIA L_{pp}

Volt. (V)	fr (Hz)	Corr (A)	L_{pp}	flujo ϕ	V/l
30	45.70	2.000	0.052	0.00130	15.000
30	48.80	1.950	0.052	0.00128	15.385
30	48.40	1.850	0.052	0.00120	18.218
30	50.80	1.770	0.053	0.00117	18.848
30	53.83	1.660	0.053	0.00110	18.072
30	54.00	1.660	0.053	0.00110	18.072
30	57.10	1.560	0.053	0.00104	19.231
30	57.80	1.540	0.054	0.00103	19.481
30	59.10	1.520	0.053	0.00101	19.737
30	61.20	1.480	0.052	0.00097	20.134

Inductancia promedio L_{pp} 0.053 0.00112

CALCULO DE LAS INDUCTANCIAS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA
SE REALIZA A FRECUENCIA VARIABLE Y VOLTAJE CONSTANTE

INDUCTANCIA L_{ss}

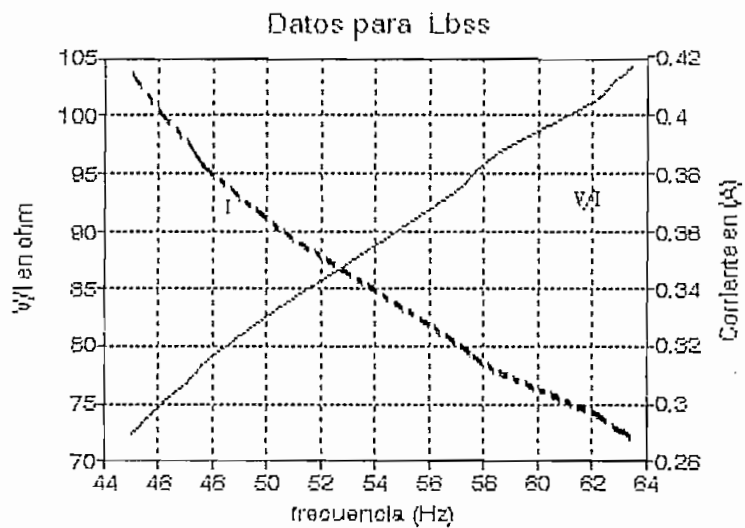
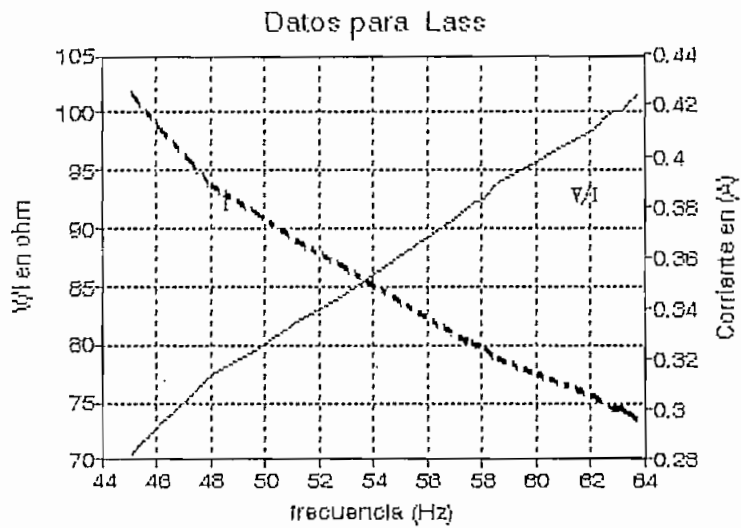
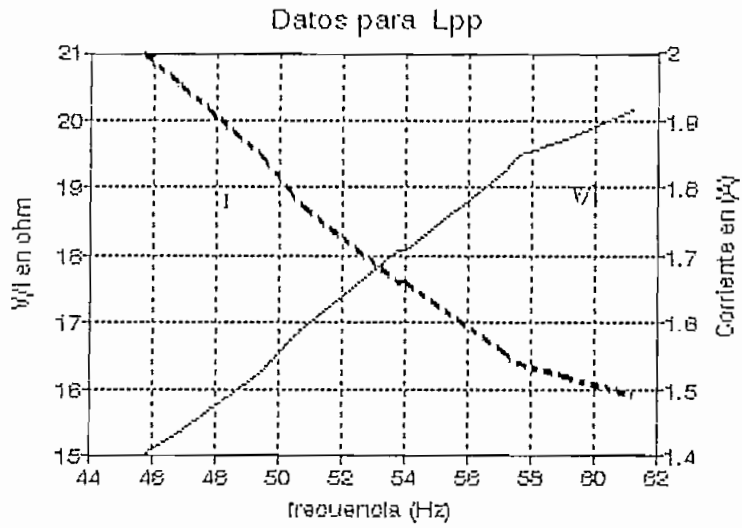
Volt. (V)	fr (Hz)	Corr (A)	L _{ss}	Flujo a	V/I
30	45.10	0.425	0.246	0.00042	70.588
30	46.10	0.411	0.249	0.00041	72.993
30	47.20	0.398	0.252	0.00040	75.377
30	48.00	0.388	0.254	0.00039	77.320
30	49.60	0.378	0.252	0.00038	79.365
30	51.20	0.366	0.253	0.00037	81.967
30	52.80	0.357	0.251	0.00036	84.034
30	57.21	0.329	0.252	0.00033	81.185
30	57.60	0.326	0.253	0.00033	82.025
30	58.10	0.324	0.252	0.00033	82.593
30	58.60	0.320	0.253	0.00032	83.750
30	62.10	0.305	0.251	0.00031	88.361
30	62.80	0.300	0.252	0.00030	100.000
30	63.20	0.300	0.250	0.00030	100.000
30	63.40	0.298	0.251	0.00030	100.871
30	63.70	0.296	0.252	0.00030	101.351

Inductancia promedio L_{ss} 0.251 0.00035

INDUCTANCIA L_{bs}

Volt. (V)	fr (Hz)	Corr (A)	L _{bs}	Flujo b	V/I
30	45.00	0.414	0.254	0.00042	72.464
30	46.10	0.400	0.256	0.00041	75.000
30	47.10	0.390	0.257	0.00040	76.823
30	47.50	0.385	0.259	0.00040	77.922
30	47.70	0.382	0.260	0.00040	78.534
30	49.70	0.366	0.260	0.00038	81.967
30	51.23	0.355	0.260	0.00037	84.507
30	52.76	0.346	0.260	0.00036	86.705
30	57.20	0.320	0.259	0.00033	93.750
30	57.60	0.318	0.261	0.00033	94.937
30	58.60	0.310	0.261	0.00032	96.774
30	62.20	0.296	0.256	0.00031	101.351
30	62.78	0.292	0.259	0.00030	102.740
30	62.81	0.291	0.260	0.00030	103.093
30	63.20	0.290	0.259	0.00030	103.448
30	63.40	0.288	0.260	0.00030	104.187

Inductancia promedio L_{bs} 0.258 0.00038



4.1.2 MEDICION DEL ACOPLAMIENTO MUTUO L_o

La estructura física de la máquina y el circuito eléctrico presentado en la figura 1.2 da lugar a la existencia de un acoplamiento mutuo entre campo y cada una de las fases, sin existir acoplamiento entre fases a y b, como se analizó en el capítulo I en la matriz de inductancias L.

El acoplamiento mutuo se obtiene por medio de las dimensiones físicas que posee el rotor y el estator.

La inductancia mutua $L_o = L_a^{ps} = L_b^{ps}$, viene dado por:

$$L_a^{ps} = L_b^{ps} = \frac{N^p * N^s}{R^{ps}}$$

donde:

N^p es el número de vueltas del campo.

N^s es el número de vueltas de la armadura.

R^{ps} es la reluctancia existente entre campo y armadura, la cual viene dado por las dimensiones del rotor y estator de acuerdo a:

$$R^{ps} = \frac{g}{\mu_o A}$$

donde :

g es el entrehierro entre el rotor y estator (m).

A es el área común entre rotor y estator (m^2).

μ_o es la permeabilidad del vacío que es igual a $4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

A continuación se realiza una representación del rotor y estator para tomar las dimensiones y hacer un cálculo aproximado, debido a que cualquier variación de estas da lugar a una gran variación de L_o , por el hecho de ser laminados tanto el rotor como estator existen ciertas irregularidades y diferencias en la construcción de estas por lo que se realiza una aproximación de las dimensiones, tomando en cuenta siempre la parte común entre rotor

y estator.

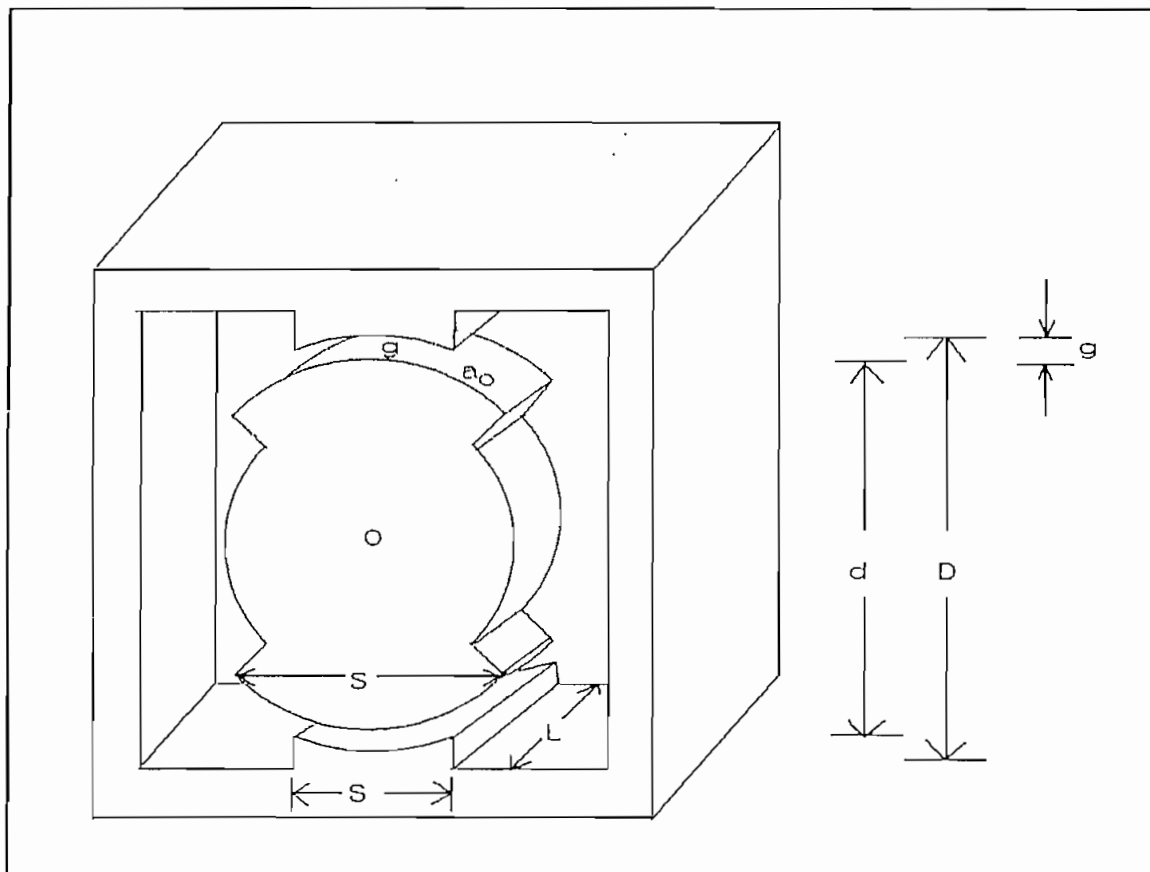


Figura 4.2

METODO PARA MEDIR EL ACOPLAMIENTO MUTUO

El área del rotor será:

$$A = a_o * L$$

donde:

L es la profundidad o espesor del rotor.

a_o es el perímetro del sector circular.

Para realizar un cálculo más efectivo se toma el área del sector circular formado, el perímetro del sector circular realizando deducciones geométricas es:

$$a_o = d \arcsin (S/d)$$

donde

S es la distancia donde termina el sector circular del polo del rotor.

d es el diámetro del rotor.

El entrehierro g por facilidad se lo toma como la diferencia entre la distancia de los estatores (D) y en diámetro del rotor.

De acuerdo a las medidas realizadas en laboratorio al generador de reluctancia se tiene:

$$D = 95.1 \text{ mm.}$$

$$d = 94 \text{ mm.}$$

$$S = 70 \text{ mm.}$$

$$L = 37 \text{ mm.}$$

$$N_p = 80$$

$$N_e = 250$$

realizando operaciones. simplificando, se obtiene $L_o = 0.06795 \text{ H.}$

Como se puede observar la inductancia de acoplamiento mutuo entre el campo y la armadura depende exclusivamente de las dimensiones de la máquina, dejando como alternativa el estudio de otros métodos para la medición de L_o

4.2 CURVA DE MAGNETIZACION

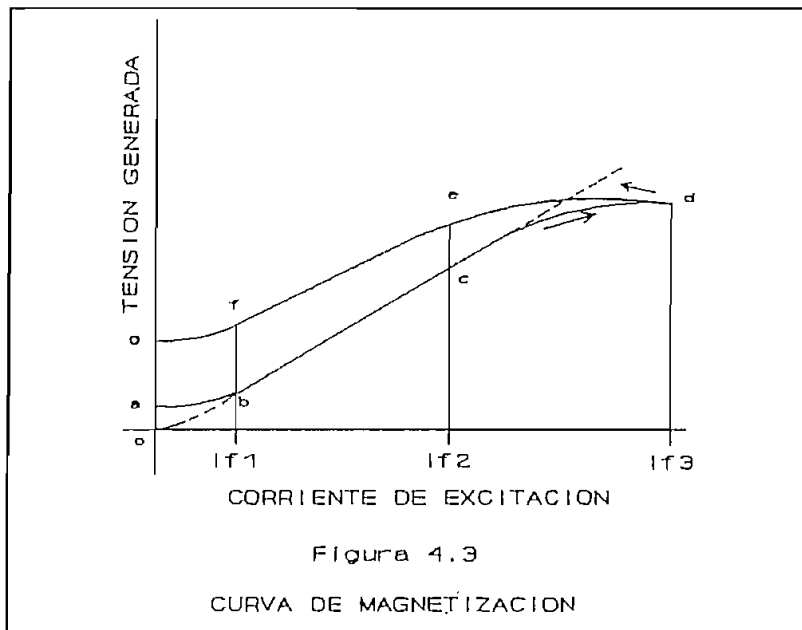
En el estudio del generador de reluctancia se debe tener en cuenta el tipo de hierro existente como de sus propiedades frente al efecto del torque electromagnético como de la tensión inducida por efecto del flujo concatenado con sus devanados, el que depende de la reluctancia que presenta el hierro del circuito magnético y del entrehierro, por lo que la saturación influye en las características de la máquina.

La fuerza electromotriz generada E_g está relacionada por el flujo ϕ , velocidad, el número de polos, etc. y está dada por ecuación

$$E_g = K' \phi$$

Para obtener la curva de saturación o de magnetización se realiza las pruebas de vacío, esta depende exclusivamente de la geometría particular del hierro y del entrehierro de la máquina.

Una curva típica de magnetización se observa en la figura 4.3.



4.2.1 ANALISIS DE LA CURVA DE MAGNETIZACION

En la figura 4.3 se observa que en la abscisa se tiene la intensidad de corriente inductora en lugar de la f.m.m. en ampere-vuelta.

Asimismo, la tensión en el inducido cuando no circula corriente por él es directamente proporcional al flujo, si la velocidad es constante, por ello para mayor comodidad se sitúan en las ordenadas las tensiones en bornes en circuito abierto en lugar del flujo por polo en el entrehierro, trazándose la curva para una velocidad fija dada, que en general es la de régimen.

La tangente a la curva corresponde al entrehierro, y representa la f.m.m. necesaria para vencer su reluctancia, si no fuera por la intervención de la saturación esta línea coincidiría con la característica en vacío, y por consiguiente la separación entre ambas es una indicación del grado de saturación existente. [4]

Si el reóstato se ajusta para una corriente de campo cero y el generador tiene una velocidad constante e igual a la nominal se esperaría que el voltaje generado sea cero pero esto no ocurre debido a la retentividad de los polos de excitación y es proporcional a la cantidad de magnetismo residual que quedó acumulado en el hierro de la máquina cuando el generador fue desconectado, esto se aprecia en el punto a de la figura 4.3.

Al aumentar la corriente de excitación hasta I_{f1} la tensión aumenta hasta el punto b, al aumentar la corriente hasta I_{f2} la tensión generada llega hasta el punto c, por lo que la tensión generada aumenta proporcionalmente a la f.m.m. del entrehierro producida por la corriente de la excitación, el tramo ab no es lineal debido a que la fmm residual es despreciable en

comparación con la fmm producida por la corriente de excitación, y la tensión generada varía directamente con la variación de la intensidad de excitación. Por arriba del punto c, un aumento en la corriente de excitación no produce un aumento proporcional en la tensión generada, el hierro de los polos de excitación y el núcleo circulante del circuito magnético se aproxima a la saturación, por consiguiente, cualquier aumento de fmm por encima del codo de la curva de saturación no llega a producir un aumento proporcional de flujo, y la curva de magnetización de c a d no es lineal, debido al efecto de la saturación magnética.

Si la corriente de excitación se reduce desde el valor de I_{e3} a I_{e2} , la tensión generada disminuye de d a e, se observa que la tensión en e es mayor que c y si se disminuye la corriente se producen tensiones mayores a las producidas que cuando se aumenta la corriente, formándose la curva de histéresis del material ferromagnético.

Debe tenerse en cuenta que al realizar esta prueba se tiene que aumentar la corriente por medio de un reóstato y realizarlo en un solo sentido, hasta llegar a una corriente máxima y luego regresar el reóstato hasta una corriente mínima, si no se realiza de esta manera se tendrá pequeños lazos de histéresis presentes, los cuales darán resultados erróneos.

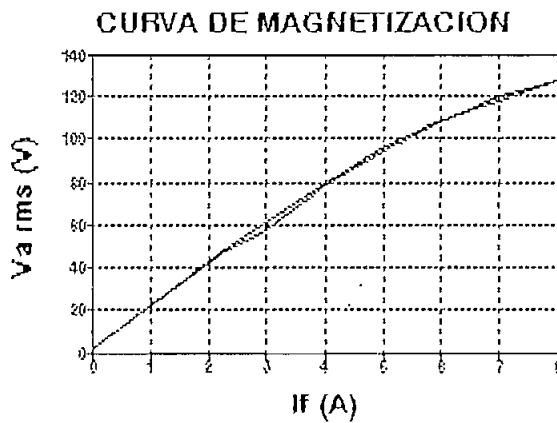
A continuación se presenta la curva de magnetización para el generador de reluctancia, se observa que comienza con un valor de voltaje debido al magnetismo residual existente en las bobinas, posee una característica lineal al aumentar la corriente de campo, al bajar la corriente de campo la curva de voltaje generado esta por debajo, y para un valor de la corriente nominal

pasan los voltajes a ser mayores, hasta llegar a un valor poco mayor para $I_f=0$ A: la máquina comienza a perder velocidad considerablemente o trata de bloquearse si se excita con corrientes superiores a la nominal, hecho que se observa en el cruce de las curvas para $I_f=6$ A.

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA
CURVA DE MAGNETIZACION

$V_{cc} = 50$
 $L_{ass} = 0.251$
 $l_{bss} = 0.259$
 $r_s = 10.5$

I_f A	V_a V	V_b V
0	1.60	1.80
2.3	47.00	48.00
3	58.00	60.00
4	78.00	80.00
5	84.00	98.00
6	108.00	110.00
7	120.00	122.00
8	128.00	130.00
7	118.00	120.00
5.9	107.50	108.00
4.85	85.00	96.00
4	78.00	80.00
3	60.50	61.00
2.3	48.00	50.00
0	2.30	2.40



4.3 EN VACIO

4.3.1 CARACTERISTICA DE CIRCUITO ABIERTO

Para obtener esta característica se acciona al generador por medio de un primotor hasta obtener la velocidad nominal, estando en vacío. se fija varios valores para corrientes de campo, se toman para cada valor los voltajes entre las fases, la curva se traza con estos valores la que representa la curva de saturación del generador, a continuación se presenta los resultados obtenidos en laboratorio y la característica de saturación.

Se observa que el generador posee una característica prácticamente lineal, manteniéndose la velocidad constante e igual a la nominal hasta un valor poco superior de la corriente de excitación de $I_f=8$ A luego de lo cual comienza a bajar el voltaje a medida que se aumenta la corriente de excitación, dando lugar a una pérdida considerable de velocidad la cual puede llegar hasta el estado de bloqueo total de la máquina, cosa que es perjudicial para el generador debido a su construcción física y la posibilidad de que se quemen sus bobinados de campo frente a esta corriente alta.

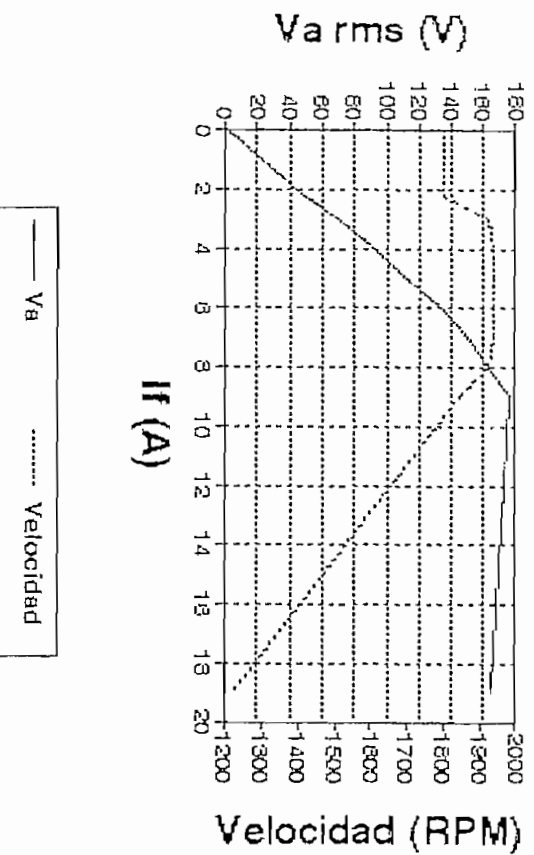
En la característica lineal el hierro no se satura, hasta llegar a I_f nominal, pero por encima de esta el hierro comienza a saturarse por lo que varía sus características en circuito abierto.

ANÁLISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA EN VACÍO

V_{cc} = 50
 L_{ms} = 0.251
 L_{ds} = 0.258
 r_s = 10.50

V _a V	V _b V	I _f A	Veloc. r.p.m.	V _f V	V _{f'} V	P _f ohm	V _{f'} V
1.80	1.40	0	1800				
48.00	50.00	2.22	1800	3.00	47.00	21.17	50.00
70.00	72.00	3	1820	4.00	46.00	15.33	50.00
92.00	93.50	4	1940	6.00	44.00	11.00	50.00
112.00	113.00	5	1940	8.00	41.00	8.20	50.00
133.00	134.00	6	1940	11.00	38.00	6.50	50.00
148.00	151.00	7	1940	14.00	36.00	5.14	50.00
163.00	164.00	8	1920	16.00	34.00	4.25	50.00
175.00	175.00	9	1840	18.00	32.00	3.58	50.00
185.00	187.00	19	1220	38.00	12.00	0.83	50.00

CARACTERÍSTICA DE VACÍO
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a



4.4 CON CARGA

Para esta prueba, se la realiza a velocidad del primotor constante e igual a la nominal, se toma datos de voltaje, corriente, potencia y la forma de onda dada por el osciloscopio en las dos fases del generador, para distintos valores de carga y corriente de excitación.

Las pruebas se realiza con carga R, L, C, y las combinaciones de estas.

Con los datos del generador, se obtiene las características para cada una de las cargas analizadas.

A continuación se presenta los datos de laboratorio como sus características.

De las pruebas y mediciones realizadas se tiene el siguiente cuadro de valores para las cargas consideradas:

	TIPO DE CARGA		
	RESISTIVA	INDUCTIVA	CAPACITIVA
CARGA 1	240 Ω	1 H	10 μF
CARGA 2	120 Ω	0.5 H	20 μF
CARGA 3	80 Ω	0.33 H	30 μF
CARGA 4	60 Ω	0.25 H	40 μF

4.4.1 CARGA RESISTIVA

De las características de carga resistiva se observa que a medida que se aumenta la corriente de excitación I_f , también lo hace el voltaje a los terminales de la carga como también la corriente por la carga.

Existe una variación tanto de voltaje como de corriente al variar la carga en el generador, consiguiéndose un decrecimiento lineal de voltaje en la carga y un aumento lineal en la corriente cuando se decrece la carga.

En la tabla 1 se observa que la potencia es prácticamente el producto VI , por ser independiente de la frecuencia de trabajo del generador.

La variación del voltaje está íntimamente relacionado con la variación de la velocidad a menor voltaje en la carga menor velocidad.

La regulación de voltaje es mala, existe variaciones grandes de voltaje con respecto al voltaje de vacío, efecto que se ve exclusivamente por la variación de la velocidad al estar el generador con carga, lo que da lugar a una variación de frecuencia.

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA

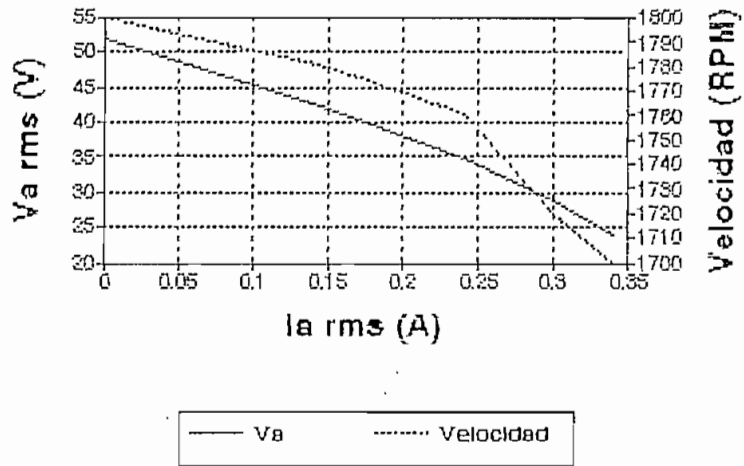
T A B L A No. 1

Vcc= 50 V rs= 10.5 OHM CARGA 1= 240 OHM
 L_{ass}= 0.251 H rp= 1.9 OHM CARGA 2= 120 OHM
 L_{bss}= 0.255 H Nc= 80 CARGA 3= 80 OHM
 Lo = 0.06795 H Na= 250 CARGA 4= 60 OHM

Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	N A	Veloci. r.p.m.	V V	V fr V	Rf ohm	V fr V	Reg. Vol fase a %	Reg. Vol fase b %	FIENCI. na%
0.50	0.50	0.000	0.000	52.00	53.00	0	2.3	1800	4.0	46.00	20.00	50			
6.60	7.02	0.150	0.150	42.00	43.10	1	2.3	1780	4.0	46.00	20.00	50	23.81	22.97	37.96
8.60	9.00	0.241	0.250	34.70	35.20	2	2.3	1760	4.0	46.00	20.00	50	49.86	50.67	43.52
8.70	9.10	0.300	0.312	28.80	29.20	3	2.3	1720	4.0	46.00	20.00	50	80.56	81.51	43.08
8.20	8.60	0.340	0.350	24.00	25.00	4	2.3	1700	4.0	46.00	20.00	50	116.67	112.00	41.07
0.80	0.80	0.000	0.000	66.00	68.00	0	3	1840	5.0	46.00	15.00	50			
10.60	10.72	0.190	0.188	52.50	53.50	1	3	1680	5.0	46.00	15.00	50	25.71	27.10	36.70
13.20	13.60	0.300	0.310	42.80	43.00	2	3	1560	5.0	46.00	15.00	50	54.21	53.14	41.19
13.40	14.00	0.375	0.385	35.50	36.00	3	3	1520	5.0	46.00	15.00	50	85.92	86.89	40.68
12.80	13.50	0.425	0.440	30.00	31.00	4	3	1440	5.0	46.00	15.00	50	120.00	119.36	39.27
1.20	1.20	0.000	0.000	85.00	86.00	0	4	1760	6.0	44.00	11.00	50			
15.40	15.60	0.228	0.226	63.00	64.00	1	4	1520	6.0	44.00	11.00	50	34.92	34.36	32.39
17.50	18.20	0.350	0.358	49.00	50.00	2	4	1360	6.0	44.00	11.00	50	73.47	72.00	34.86
17.70	18.60	0.431	0.445	41.00	42.00	3	4	1230	6.0	44.00	11.00	50	107.32	104.76	34.54
17.60	18.40	0.495	0.515	35.00	36.00	4	4	1180	6.0	44.00	11.00	50	142.86	138.89	33.99
1.80	1.80	0.000	0.000	102.00	103.00	0	5	1760	8.5	41.40	8.28	50			
17.60	17.60	0.245	0.241	68.00	70.00	1	5	1340	8.5	41.40	8.28	50	50.00	47.14	26.06
19.60	20.40	0.370	0.382	52.80	53.00	2	5	1100	8.5	41.40	8.28	50	93.16	94.34	27.67
20.00	20.56	0.458	0.470	43.00	43.50	3	5	1000	8.5	41.40	8.28	50	137.21	136.76	27.97
19.40	20.20	0.530	0.540	37.00	38.00	4	5	920	8.5	41.40	8.28	50	175.66	171.05	27.08
2.34	2.40	0.000	0.000	117.00	118.00	0	6	1750	10	40.00	6.67	50			
20.00	20.00	0.261	0.258	73.00	74.00	1	6	1200	10	40.00	6.67	50	60.27	59.46	21.87
21.00	21.00	0.376	0.385	53.50	54.00	2	6	1000	10	40.00	6.67	50	118.89	118.52	22.53
20.40	20.80	0.460	0.471	43.00	44.00	3	6	820	10	40.00	6.67	50	172.09	169.18	21.86
19.40	20.00	0.530	0.540	37.00	37.00	4	6	740	10	40.00	6.67	50	216.22	218.92	20.64

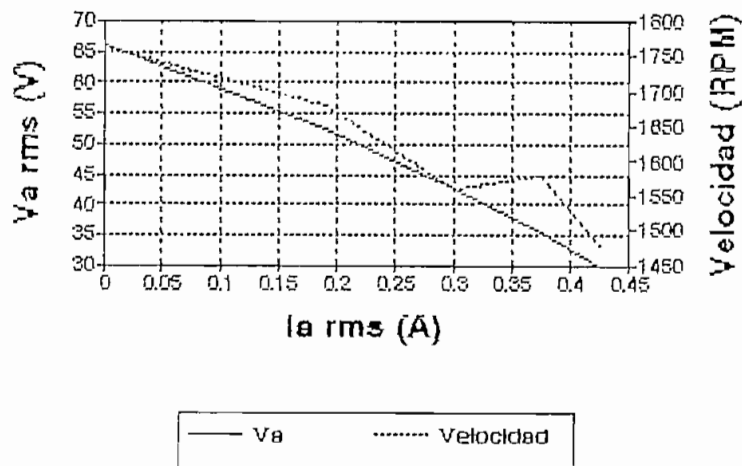
CARACTERISTICA R; If=2.3 A

Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



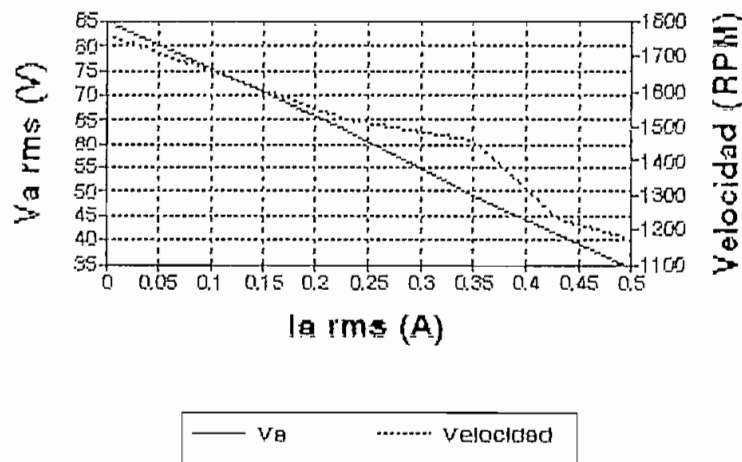
CARACTERISTICA R If=3 A

Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia

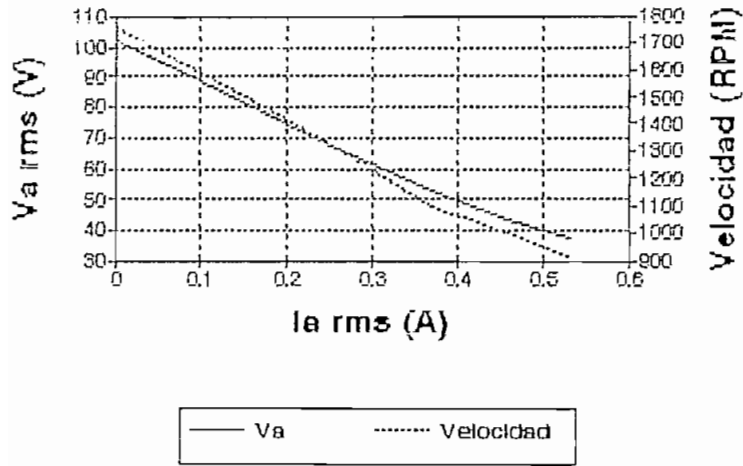


CARACTERISTICA CARGA R If=4 A

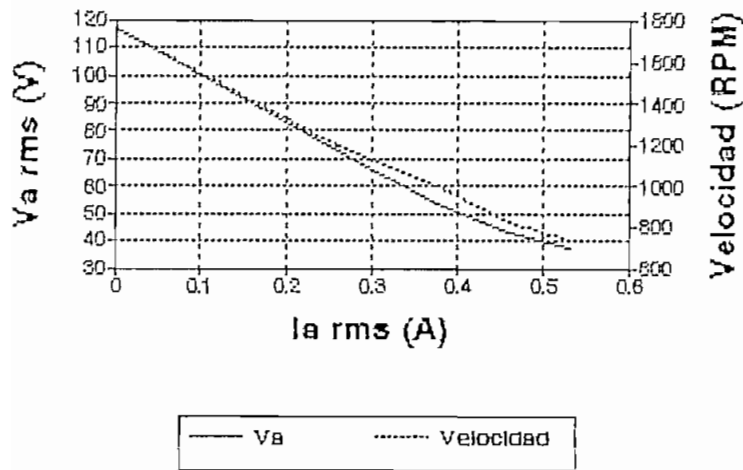
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERISTICA R; If=5 A
 Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERISTICA R If=6 A
 Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



4.4.2 CARGA INDUCTIVA

Un incremento de I_f da lugar a que el voltaje en la carga aumente como también la corriente en la carga, de acuerdo a la tabla 2. Se tiene una variación lineal de voltaje con respecto a la corriente para distintos valores de carga, lo que da lugar a la variación de velocidad, y por ende de frecuencia.

Al igual que la carga resistiva, la regulación es pobre existiendo diversidad por cada fase debido a que una fase entrega potencia al generador y la otra recibe de éste.

Como síntesis la carga inductiva es perjudicial para el generador, se produce inestabilidad total del generador dando lugar a posibles fallas y rompimiento del eje del rotor en máquinas más grandes debido a que una y otra fase están trabajando de distinta manera, no existe un comportamiento similar para cada fase.

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA INDUCTIVA

T A B L A No. 2

V_{cc}= 51 V r_s= 10.5 OHM CARGA 1= 1 H
 L_{ass}= 0.251 H r_p= 1.9 OHM CARGA 2= 0.5 H
 L_{bss}= 0.259 H N_c= 80 CARGA 3= 0.33 H
 L_o = 0.06795 H N_a= 250 CARGA 4= 0.25 H

	Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	n	Veloci r.p.m.	V _f V	V _{fr} V	R _f ohm	V _{cc} V	Reg. Vol fase a %	Reg. Vol fase b %	RENDI. na%	RENDI. nb%
	0.42	0.42	0.00	0.00	51.00	52.00	0	2	1860	4.00	47.00	20.00	51.00				
E	0.80	3.20	0.10	0.11	40.00	41.00	1	2	1860	4.00	47.00	20.00	51.00	27.50	26.83	6.77	22.47
E	1.00	4.00	0.17	0.18	33.00	33.00	2	2	1860	4.00	47.00	20.00	51.00	54.55	57.58	7.95	22.18
E	1.12	4.06	0.21	0.23	28.00	28.00	3	2	1860	4.00	47.00	20.00	51.00	82.14	85.71	8.57	21.27
E	5.10	4.02	0.24	0.26	24.50	24.50	4	2	1860	4.00	47.00	20.00	51.00	108.16	112.24	29.45	20.85
	0.80	0.80	0.00	0.000	56.00	60.00	0	3	1860	5.00	46.00	15.33	51.00				
E	6.00	5.20	0.13	0.144	51.50	52.00	1	3	1840	5.00	46.00	15.33	51.00	8.74	15.38	24.91	22.30
E	10.00	6.60	0.22	0.235	42.50	42.50	2	3	1820	5.00	46.00	15.33	51.00	31.76	41.18	29.75	22.39
E	10.10	6.90	0.27	0.295	36.50	36.50	3	3	1820	5.00	46.00	15.33	51.00	53.42	64.38	26.60	21.90
E	9.00	6.80	0.31	0.337	31.50	31.50	4	3	1820	5.00	46.00	15.33	51.00	77.78	90.48	24.17	21.25
	1.20	1.20	0.00	0.000	85.00	85.00	0	4	1860	7.00	44.00	11.00	51.00				
E	12.00	8.60	0.18	0.188	67.00	67.00	1	4	1860	7.00	44.00	11.00	51.00	26.87	26.87	27.32	21.20
E	17.00	11.00	0.29	0.310	54.00	54.00	2	4	1800	7.00	44.00	11.00	51.00	57.41	57.41	28.20	21.56
E	17.50	11.50	0.36	0.385	46.50	46.50	3	4	1780	7.00	44.00	11.00	51.00	82.80	82.80	26.42	21.12
E	16.50	11.40	0.41	0.440	41.00	40.50	4	4	1780	7.00	44.00	11.00	51.00	107.32	109.88	24.94	20.60
	1.60	1.60	0.00	0.000	100.00	103.00	0	5	1780	9.00	42.00	8.40	51.00				
E	14.50	12.60	0.22	0.228	79.00	81.00	1	5	1760	9.00	42.00	8.40	51.00	26.58	27.16	22.62	20.24
E	18.00	16.90	0.36	0.375	64.00	66.00	2	5	1760	9.00	42.00	8.40	51.00	56.25	56.06	22.12	21.54
E	15.00	18.30	0.45	0.465	54.00	56.00	3	5	1720	9.00	42.00	8.40	51.00	85.19	83.93	18.16	21.54
E	10.00	18.50	0.51	0.530	46.50	49.00	4	5	1640	9.00	42.00	8.40	51.00	115.05	110.20	13.29	21.20

"E" POTENCIA QUE RECIBE EL GENERADOR

ANÁLISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA INDUCTIVA

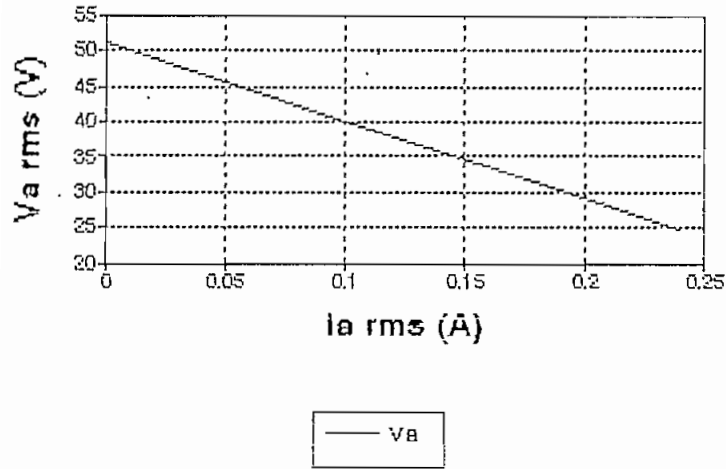
T A B L A No. 2

Vcc= 51 V rs= 10.5 OHM CARGA 1= 1 H
 Lss= 0.251 H rp= 1.9 OHM CARGA 2= 0.5 H
 Lbs= 0.259 H Nc= 80 CARGA 3= 0.33 H
 La = 0.06795 H Na= 250 CARGA 4= 0.25 H

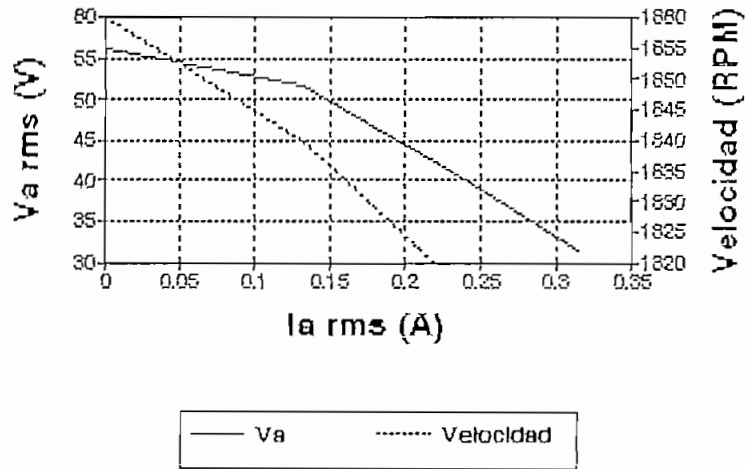
	Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	f A	Veloci r.p.m.	Vf V	V fr V	Rf ohm	Vcc V	Reg. Vol fase a %	Reg. Vol fase b %	RENDI. na%	RENDI. nb%
	2.40	2.40	0.00	0.000	118.00	121.00	0	6	1780	11.00	40.00	6.67	51.00				
E	21.00	17.40	0.27	0.275	91.00	94.00	1	6	1720	11.00	40.00	6.67	51.00	29.87	28.72	22.69	19.55
E	25.00	23.00	0.43	0.450	73.00	76.00	2	6	1640	11.00	40.00	6.67	51.00	51.64	59.21	21.49	20.73
E	23.00	25.00	0.53	0.560	60.00	63.00	3	6	1560	11.00	40.00	6.67	51.00	96.67	92.06	19.27	20.89
E	15.00	24.00	0.61	0.635	51.00	54.00	4	6	1500	11.00	40.00	6.67	51.00	131.37	124.07	13.60	19.73
	13.00	2.60	0.00	0.000	126.00	134.00	0	7	1700	13.00	38.00	5.43	51.00				
	32.00	20.20	0.30	0.316	98.00	100.00	1	7	1640	13.00	38.00	5.43	51.00	28.57	34.00	23.01	17.27
	44.00	26.00	0.50	0.525	79.00	80.00	2	7	1520	13.00	38.00	5.43	51.00	59.49	67.50	25.62	18.28
	49.00	27.00	0.62	0.660	67.00	67.00	3	7	1480	13.00	38.00	5.43	51.00	88.06	100.00	25.77	17.92
	57.00	26.50	0.71	0.740	56.50	55.50	4	7	1460	13.00	38.00	5.43	51.00	123.01	141.44	27.89	17.39
	3.00	1.50	0.00	0.000	142.00	147.00	0	8	1700	15.00	36.00	4.50	51.00				
E	37.00	24.00	0.35	0.355	104.00	106.00	1	8	1520	15.00	36.00	4.50	51.00	36.54	38.68	22.72	16.17
E	53.00	30.00	0.57	0.590	83.00	83.00	2	8	1480	15.00	36.00	4.50	51.00	71.08	77.11	24.65	16.74
E	57.00	31.00	0.71	0.735	68.00	68.00	3	8	1380	15.00	36.00	4.50	51.00	108.82	118.18	24.06	16.47
E	55.00	30.50	0.81	0.840	58.00	58.00	4	8	1340	15.00	36.00	4.50	51.00	144.83	153.45	22.87	16.01
	3.60	3.80	0	0.000	150.00	155.00	0	9	1640	16.00	35.00	3.89	51.00				
E	48.00	28.00	0.4	0.400	110.00	112.00	1	9	1420	16.00	35.00	3.89	51.00	36.36	38.39	23.17	14.94
E	66.00	34.00	0.68	0.670	84.00	84.00	2	9	1320	16.00	35.00	3.89	51.00	78.57	84.52	24.22	15.41
E	67.00	35.00	0.82	0.835	68.00	68.00	3	9	1240	16.00	35.00	3.89	51.00	120.59	127.94	22.79	15.20
E	60.00	32.00	0.94	0.950	55.00	55.00	4	9	1100	16.00	35.00	3.89	51.00	172.73	181.82	20.58	13.89

"E" POTENCIA QUE RECIBE EL GENERADOR

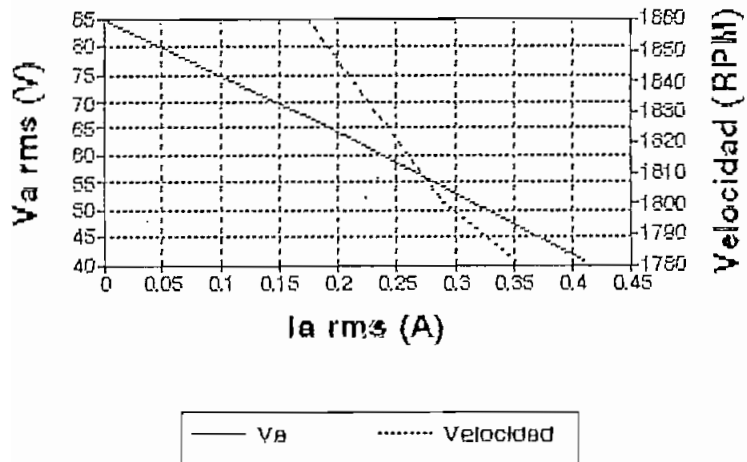
CARACTERISTICA CARGA L If=2.25 A
Va vs. Ia Velocidad=1860 rpm



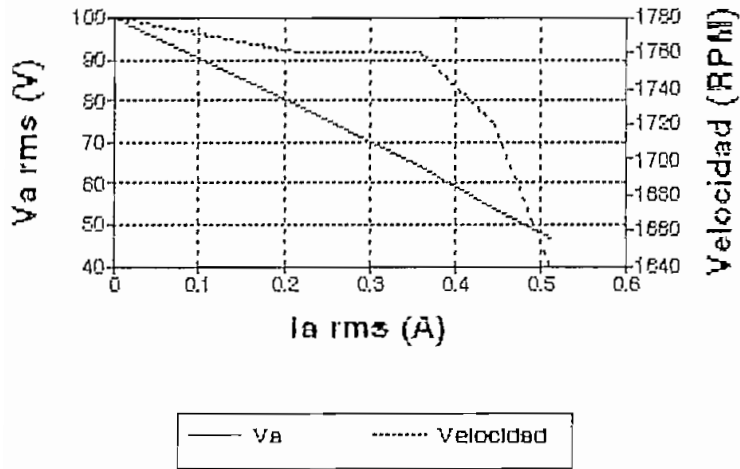
CARACTERISTICA CARGA L If=3 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



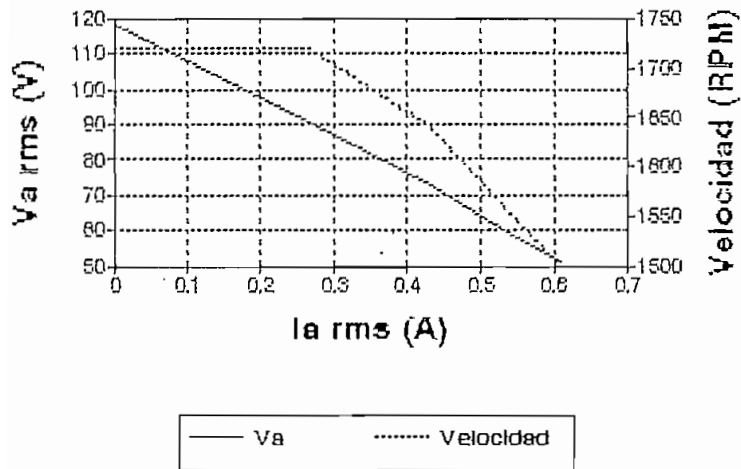
CARACTERISTICA CARGA L If=4 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



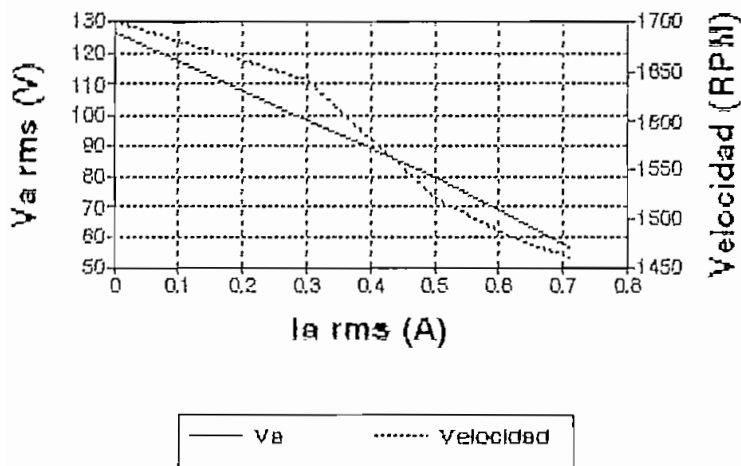
CARACTERISTICA CARGA L If=5 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERISTICA CARGA L If=6 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERISTICA CARGA L If=7 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



4.4.3 CARGA CAPACITIVA

Se observa en las características que a medida que se aumenta I_f aumenta el voltaje en la carga, para un valor de voltaje en la carga constante, a medida que aumenta I_f la corriente en la carga es mayor; al aumentar la carga el voltaje sobre ésta aumenta como su corriente (tabla 3), existe un compromiso entre la carga y la inductancia propia de la máquina, si la carga asociada es muy elevada existe un predominio inductivo lo cual hace que el voltaje de la carga disminuya efecto que se presenta si la carga es mayor de $30\mu\text{F}$ para corrientes de excitación menor o igual a 3A; para corrientes mayores se presenta el fenómeno con cargas menores a $30\mu\text{F}$.

La regulación de voltaje es mucho mejor que los casos anteriores por lo que es factible su utilización con cargas capacitivas.

ANÁLISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA CAPACITIVA

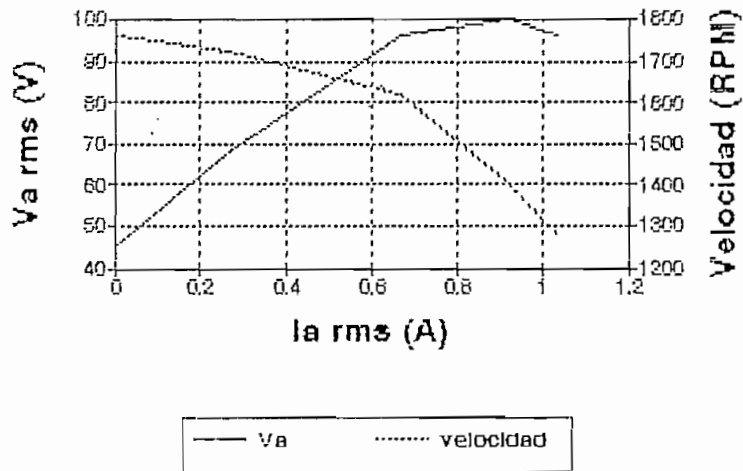
T A B L A No. 3

V_{cc}= 50 V r_s=10.5 OHM CARGA 1= 10 uF
 L_{ass}= 0.251 H r_p=1.9 OHM CARGA 2= 20 uF
 L_{bss}= 0.259 H N_C=80 CARGA 3= 30 uF
 L_o= 0.06795 H N_A=250 CARGA 4= 40 uF

Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	f A	Veloci, r.p.m.	Vt V	V fr V	Rf ohm	Vcc V	Reg. Vol fase a %	Reg. Vol fase b %	RENDI. na%
0.40	0.40	0.00	0.00	45.00	46.00	0	2.3	1760	4.00	46.00	20.00	50.00			
1.00	1.00	0.27	0.28	68.00	70.00	1	2.3	1720	4.00	46.00	20.00	50.00	-33.82	-34.29	8.20
2.20	2.20	0.67	0.67	96.00	98.00	2	2.3	1620	4.00	46.00	20.00	50.00	-29.17	-28.57	12.67
2.40	2.80	0.92	0.91	100.00	101.00	3	2.3	1400	4.00	46.00	20.00	50.00	-32.00	-30.69	11.04
2.80	2.60	1.03	1.03	96.00	96.00	4	2.3	1280	4.00	46.00	20.00	50.00	-29.17	-27.08	11.48
0.60	0.60	0.00	0.00	60.00	61.00	0	3	1760	6.00	44.00	14.67	50.00			
1.40	1.40	0.35	0.36	90.00	92.00	1	3	1680	6.00	44.00	14.67	50.00	-33.33	-33.70	6.87
3.20	2.80	0.72	0.72	108.00	110.00	2	3	1480	6.00	44.00	14.67	50.00	-16.67	-16.36	12.15
3.10	2.90	0.94	0.94	109.00	109.00	3	3	1320	6.00	44.00	14.67	50.00	-17.43	-15.60	10.31
2.90	2.80	1.05	1.05	100.00	102.00	4	3	1180	6.00	44.00	14.67	50.00	-10.00	-9.80	9.01
1.00	1.10	0.00	0.00	80.00	82.00	0	4	1860	8.00	42.00	10.50	50.00			
2.20	2.20	0.41	0.42	106.00	108.00	1	4	1620	8.00	42.00	10.50	50.00	-24.53	-24.07	6.22
3.20	3.10	0.75	0.75	117.00	119.00	2	4	1400	8.00	42.00	10.50	50.00	-9.40	-9.24	7.90
3.20	3.00	0.93	0.92	112.00	114.00	3	4	1260	8.00	42.00	10.50	50.00	-5.36	-5.26	7.33
3.00	2.90	1.02	1.01	104.00	106.00	4	4	1120	8.00	42.00	10.50	50.00	1.92	1.89	6.62
1.60	1.60	0.00	0.00	98.00	100.00	0	5	1760	10.00	40.00	8.00	50.00			
2.80	2.80	0.47	0.48	118.00	120.50	1	5	1520	10.00	40.00	8.00	50.00	-16.95	-17.01	5.16
3.20	3.20	0.74	0.73	122.00	123.00	2	5	1380	10.00	40.00	8.00	50.00	-3.28	-2.03	5.51
3.10	3.20	0.92	0.91	116.00	117.00	3	5	1220	10.00	40.00	8.00	50.00	1.72	2.99	5.07
3.00	3.00	0.99	0.99	106.00	108.00	4	5	1080	10.00	40.00	8.00	50.00	11.32	11.57	4.81
2.00	2.20	0.00	0.00	98.00	100.00	0	6	1760	12.00	38.00	6.33	50.00			
3.20	3.20	0.62	0.62	125.00	127.00	1	6	1460	12.00	38.00	6.33	50.00	-21.60	-21.26	4.19
3.40	3.40	0.74	0.74	122.00	126.00	2	6	1300	12.00	38.00	6.33	50.00	2.46	0.79	4.27
3.08	3.14	0.89	0.88	115.00	117.00	3	6	1140	12.00	38.00	6.33	50.00	8.70	8.55	3.74
2.96	2.96	0.96	0.96	107.00	109.00	4	6	1020	12.00	38.00	6.33	50.00	16.82	16.51	3.56

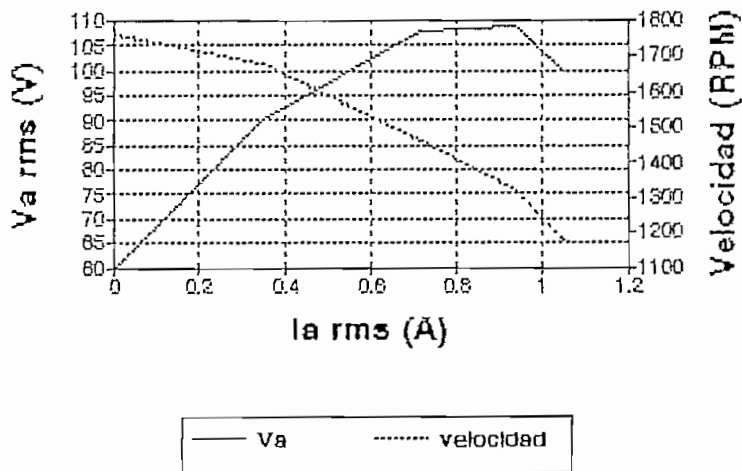
CARACTERISTICA C If=2.3 A

Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



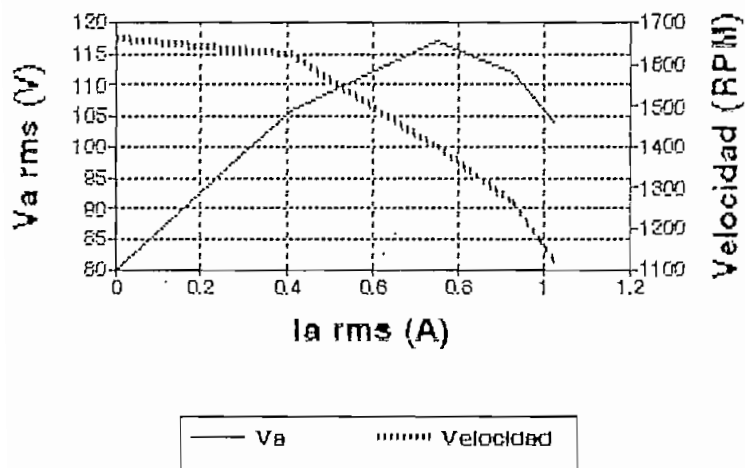
CARACTERISTICA C If=3 A

Va vs. Ia rms - Velocidad vs. Ia

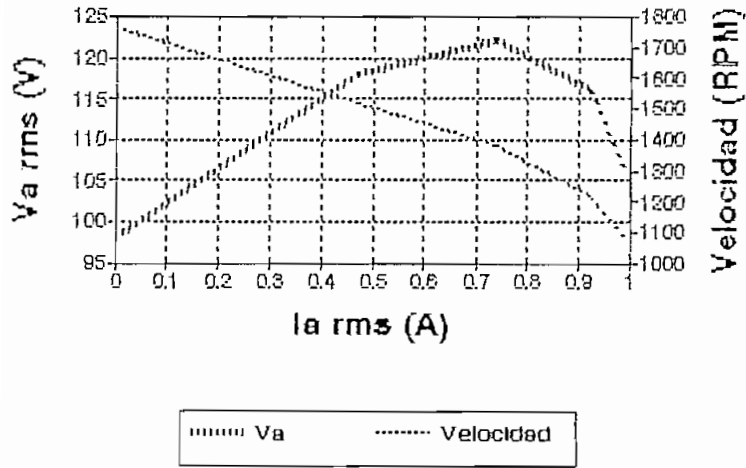


CARACTERISTICA C If=4 A

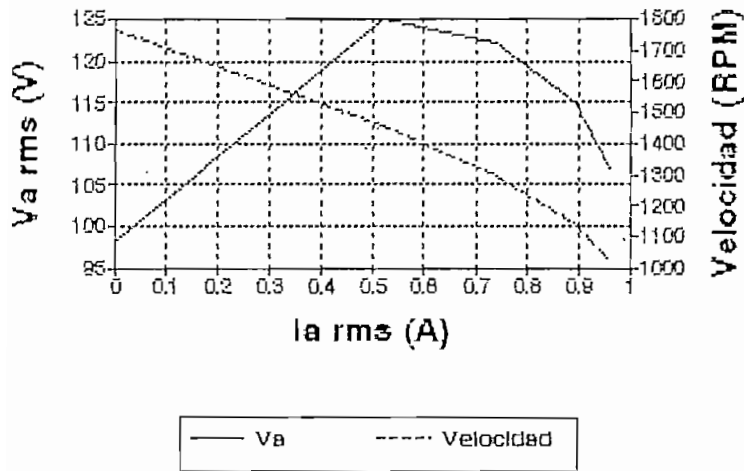
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERISTICA C If=5 A
 V_a rms vs. I_a rms



CARACTERISTICA C If=6 A
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a



4.4.4 CARGA RESISTIVA INDUCTIVA

Las características son lineales, decreciendo a medida que baja la carga, igual que los casos anteriores si aumenta la corriente de excitación I_f , aumenta el voltaje en la carga e igual su corriente, la regulación mejora con respecto a la resistiva, frente a la carga inductiva de alguna manera se mejora mientras la corriente de excitación esta bajo los 4A, sobre ésta la regulación con carga inductiva es mejor que con RL, como se puede observar en la tabla 4.

Dependiendo si la carga resistiva es mayor que la inductiva tiene un comportamiento resistivo como se analizo anteriormente, caso contrario existe un comportamiento inductivo como se puede comprobar en el programa.

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA - INDUCTIVA

T A B L A No. 4

Vcc= 50 V rs= 10.5 OHM

CARGA 1= 240 OHM + 1 H

Lass= 0.251 H rp= 1.9 OHM

CARGA 2= 120 OHM + 0.5 H

Lbss= 0.259 H NC= 60

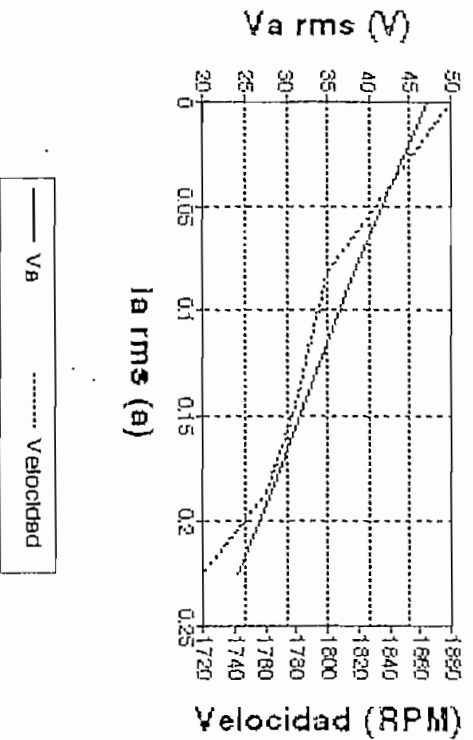
CARGA 3 = 60 OHM + 0.33 H

Lo = 0.07695 H NA= 250

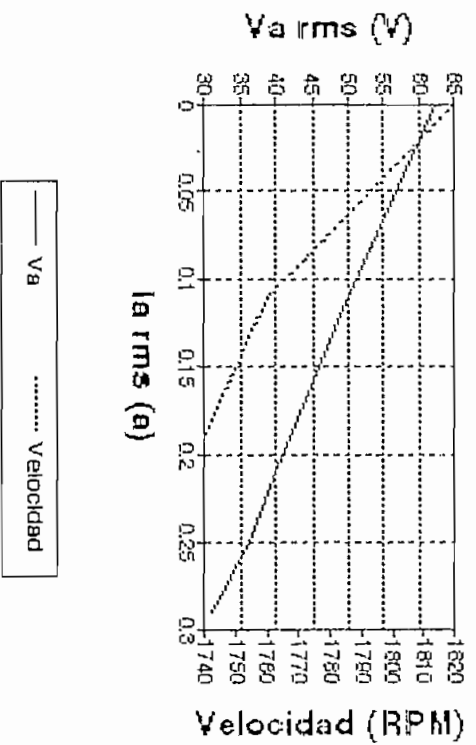
CARGA 4= 60 OHM + 0.25 H

Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CARGA	f A	Veloci. r.p.m.	Vt V	V fr V	Rf ohm	V fr V	Reg. Vol fase a %	Reg. Vol fase b %	REND. na%
0.40	0.40	0.00	0.00	47.00	50.00	0	2.3	1880	4.00	46.00	20.00	50.00			
2.06	3.20	0.06	0.07	38.00	44.00	1	2.3	1800	4.00	46.00	20.00	50.00	23.68	13.64	16.37
2.80	4.60	0.15	0.13	32.00	38.00	2	2.3	1780	4.00	46.00	20.00	50.00	46.88	31.58	20.78
3.00	5.30	0.19	0.17	28.00	34.00	3	2.3	1760	4.00	46.00	20.00	50.00	67.86	47.06	21.72
2.94	5.72	0.23	0.22	24.00	30.00	4	2.3	1720	4.00	46.00	20.00	50.00	95.83	66.67	21.12
0.60	0.60	0.00	0.000	62.50	64.00	0	3	1820	5.00	46.00	15.00	50.00			
3.40	5.20	0.11	0.094	50.00	56.00	1	3	1760	5.00	45.00	15.00	50.00	25.00	14.29	16.02
4.60	7.80	0.19	0.170	42.00	48.00	2	3	1740	5.00	45.00	15.00	50.00	48.81	33.33	20.28
5.00	9.00	0.25	0.230	36.00	43.00	3	3	1740	5.00	45.00	15.00	50.00	73.61	48.84	21.41
4.80	9.80	0.29	0.275	31.00	39.00	4	3	1740	5.00	45.00	15.00	50.00	101.61	64.10	20.53
1.10	1.10	0.00	0.000	83.00	85.00	0	4	1840	7.00	43.00	10.75	50.00			
6.00	9.00	0.15	0.120	65.00	73.00	1	4	1740	7.00	43.00	10.75	50.00	27.69	16.44	15.91
8.00	13.20	0.26	0.225	53.00	61.00	2	4	1600	7.00	43.00	10.75	50.00	56.60	39.34	19.91
8.20	15.00	0.33	0.296	45.00	54.00	3	4	1540	7.00	43.00	10.75	50.00	84.44	57.41	20.09
8.40	15.80	0.39	0.355	38.00	49.00	4	4	1540	7.00	43.00	10.75	50.00	118.42	73.47	20.26
1.60	1.60	0.00	0.000	100.00	103.00	0	5	1760	8.00	42.00	8.40	50.00			
9.00	13.00	0.18	0.15	77.00	86.00	1	5	1600	8.00	42.00	8.40	50.00	29.87	19.77	15.40
12.00	18.00	0.31	0.26	60.00	70.00	2	5	1480	8.00	42.00	8.40	50.00	66.67	47.14	19.32
12.40	20.00	0.40	0.35	50.00	60.00	3	5	1420	8.00	42.00	8.40	50.00	100.00	71.67	19.64
13.00	20.40	0.46	0.42	43.00	53.50	4	5	1320	8.00	42.00	8.40	50.00	132.56	92.52	20.21
2.20	2.20	0.00	0.00	114.00	118.00	0	6	1720	11.00	39.00	6.50	50.00			
11.60	15.20	0.21	0.16	83.00	92.00	1	6	1440	11.00	39.00	6.50	50.00	37.35	28.26	14.04
15.00	19.60	0.35	0.286	63.00	73.00	2	6	1280	11.00	39.00	6.50	50.00	80.95	61.64	17.26
16.00	22.40	0.44	0.380	52.00	61.00	3	6	1120	11.00	39.00	6.50	50.00	119.23	93.44	18.05
16.20	22.00	0.52	0.445	43.00	52.50	4	6	1060	11.00	39.00	6.50	50.00	165.12	124.76	18.07

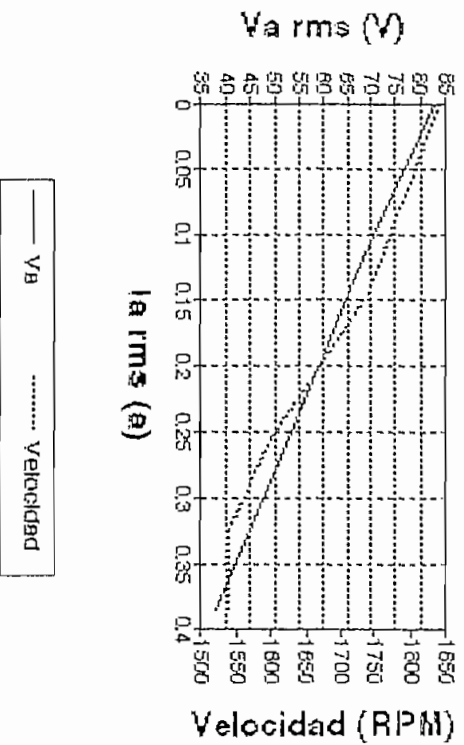
**CARACTERISTICA RL $I=2.3 A$
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a**

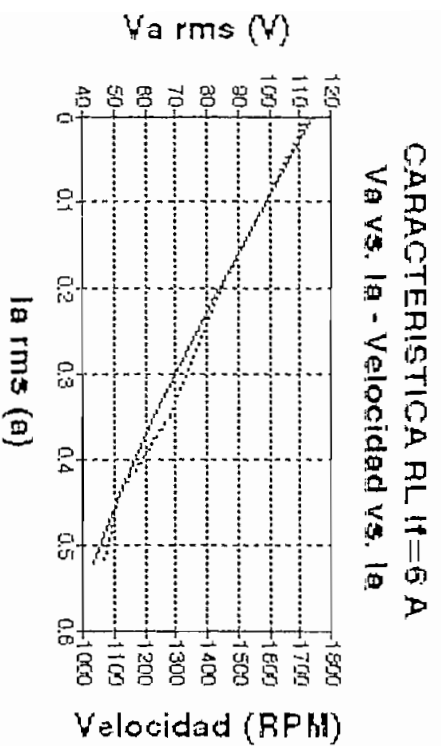
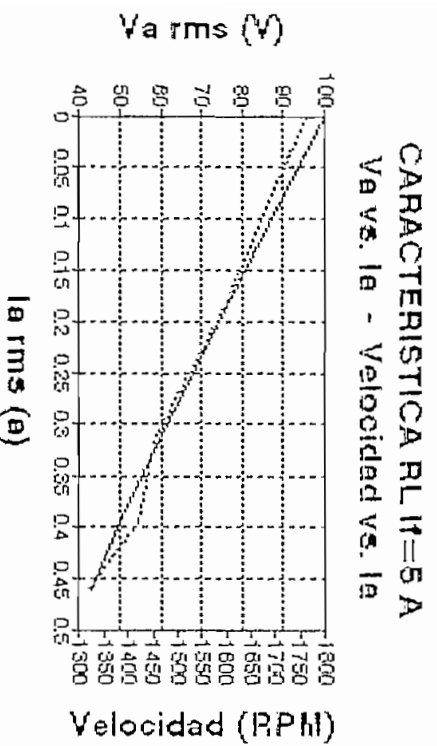


**CARACTERISTICA RL $I=3 A$
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a**



**CARACTERISTICA RL $I=4 A$
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a**





4.4.5 CARGA RESISTIVA CAPACITIVA

Por valores bajos de 3A de corriente de excitación existe un predominio capacitivo, existe aumento de voltaje y corriente al introducir la carga, mientras que a mayores valores de corriente de excitación existe un predominio resistivo, decreciendo el voltaje en la carga conforme disminuye la carga, la regulación de voltaje mejora con respecto a los casos anteriores como se observa en la tabla 5.

El predominio de carga es importante debido a que dependiendo de cual carga es mayor tiene un comportamiento propio de esta carga.

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA - CAPACITIVA

T.A.B.L.A No. 5

Vcc= 50 V rs= 10.5 OHM CARGA 1 = 240 OHM + 10 uF
 Lass= 0.251 H rp= 1.9 OHM CARGA 2 = 120 OHM + 20 uF
 Lbss= 0.259 H NC= 80 CARGA 3 = 80 OHM + 30 uF
 Lo= 0.06795 H NA=250 CARGA 4 = 60 OHM + 40 uF

Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	If A	Veloci r.p.m.	Vf V	V fr V	Rf ohm	V fr V	Reg. Vol Fase a %	Reg. Vol Fase b	REND. na%
0.40	0.40	0.00	0.00	47.50	49.00	0	2.3	1740	4.00	46.00	20.00	50.00			
5.40	5.40	0.13	0.13	50.50	51.00	1	2.3	1680	4.00	46.00	20.00	50.00	-5.94	-3.92	33.6785
9.00	9.30	0.25	0.25	49.50	51.00	2	2.3	1580	4.00	46.00	20.00	50.00	-4.04	-3.92	44.8179
12.00	12.00	0.35	0.36	48.00	49.00	3	2.3	1480	4.00	46.00	20.00	50.00	-1.04	0.00	50.6313
13.00	13.00	0.42	0.43	45.00	46.00	4	2.3	1400	4.00	46.00	20.00	50.00	5.56	6.52	51.4661
0.74	0.74	0.00	0.000	61.00	63.50	0	3	1800	5.00	45.00	15.00	50.00			
8.60	8.60	0.16	0.162	62.50	64.00	1	3	1720	5.00	45.00	15.00	50.00	-2.40	-0.78	32.1951
13.00	13.40	0.29	0.300	60.00	62.00	2	3	1520	5.00	45.00	15.00	50.00	1.67	2.42	40.9797
15.00	16.00	0.40	0.405	57.00	59.00	3	3	1380	5.00	45.00	15.00	50.00	7.02	7.63	43.4531
17.00	17.40	0.48	0.487	54.50	56.00	4	3	1260	5.00	45.00	15.00	50.00	11.93	13.39	45.6263
1.00	1.00	0.00	0.000	80.00	82.00	0	4	1800	7.00	43.00	10.75	50.00			
11.20	11.80	0.19	0.193	77.00	78.00	1	4	1540	7.00	43.00	10.75	50.00	3.90	5.13	26.0592
15.60	16.40	0.33	0.332	71.00	72.50	2	4	1300	7.00	43.00	10.75	50.00	12.68	13.10	32.4263
18.20	18.60	0.43	0.434	66.00	68.00	3	4	1220	7.00	43.00	10.75	50.00	21.21	20.59	35.3299
18.40	18.80	0.50	0.505	62.00	64.00	4	4	1080	7.00	43.00	10.75	50.00	29.03	28.13	35.1323

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA - CAPACITIVA

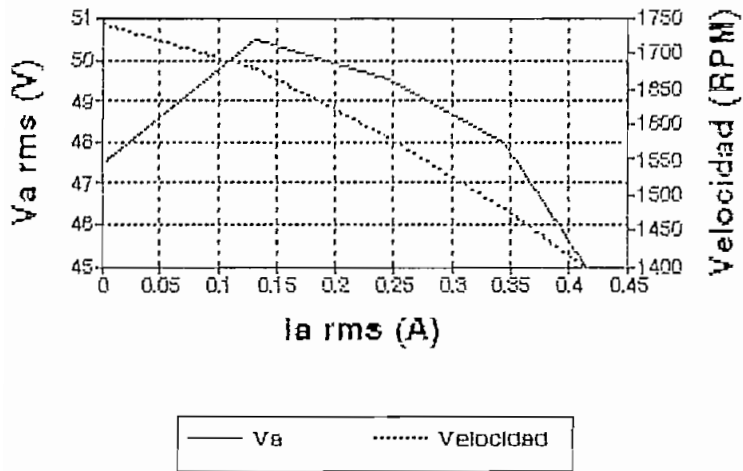
TABLA No. 5

$V_{cc} = 50 \text{ V}$ $r_s = 10.5 \text{ OHM}$ CARGA 1 = 240 OHM + 10 μF
 $L_{ass} = 0.251 \text{ H}$ $r_p = 1.9 \text{ OHM}$ CARGA 2 = 120 OHM + 20 μF
 $L_{bss} = 0.259 \text{ H}$ $N_C = 80$ CARGA 3 = 80 OHM + 30 μF
 $L_o = 0.06795 \text{ H}$ $N_A = 250$ CARGA 4 = 60 OHM + 40 μF

Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	If A	Veloci r.p.m.	Vf V	Vfr V	Rf ohm	Vfr V	Reg. Vol Fase a %	Reg. Vol Fase b	REND. na%
1.60	1.70	0.00	0.000	98.00	101.00	0	5	1780	8.00	42.00	8.40	50.00			
14.00	14.60	0.21	0.21	88.00	89.00	1	5	1400	8.00	42.00	8.40	50.00	11.36	13.48	22.0254
17.60	18.20	0.34	0.35	78.00	80.00	2	5	1200	8.00	42.00	8.40	50.00	25.64	26.25	25.9152
18.60	18.80	0.44	0.44	72.00	74.00	3	5	1060	8.00	42.00	8.40	50.00	36.11	36.49	26.6908
18.20	18.60	0.51	0.52	68.00	70.00	4	5	940	8.00	42.00	8.40	50.00	44.12	44.29	26.9885
2.20	2.20	0.00	0.00	114.00	117.00	0	6	1680	11.00	39.00	6.50	50.00			
14.80	15.60	0.22	0.22	94.00	96.00	1	6	1280	11.00	39.00	6.50	50.00	21.28	21.88	17.2277
17.40	18.00	0.34	0.350	83.00	85.00	2	6	1100	11.00	39.00	6.50	50.00	37.35	37.65	19.5037
18.00	18.40	0.43	0.430	75.00	77.00	3	6	980	11.00	39.00	6.50	50.00	52.00	51.95	19.8903
16.80	17.40	0.48	0.490	70.00	72.00	4	6	880	11.00	39.00	6.50	50.00	62.86	62.50	18.7042
2.60	2.70	0.00	0.000	123.00	127.00	0	7	1620	12.00	38.00	5.43	50.00			
14.80	16.00	0.22	0.225	98.00	100.00	1	7	1200	12.00	38.00	5.43	50.00	25.51	27.00	13.3323
16.80	17.00	0.33	0.335	85.00	87.00	2	7	1000	12.00	38.00	5.43	50.00	44.71	45.98	14.7831
16.50	16.80	0.41	0.415	77.00	79.00	3	7	880	12.00	38.00	5.43	50.00	59.74	60.76	14.4781
16.00	16.40	0.46	0.473	71.00	73.00	4	7	800	12.00	38.00	5.43	50.00	73.24	73.97	14.0411

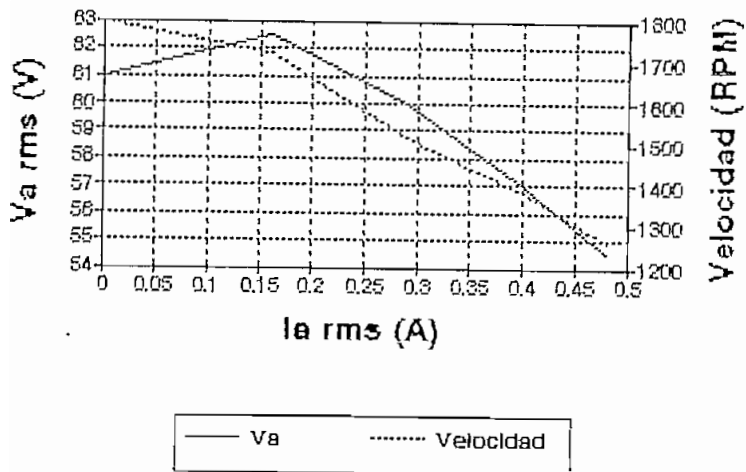
CARACTERISTICA RC If=2.3 A

Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



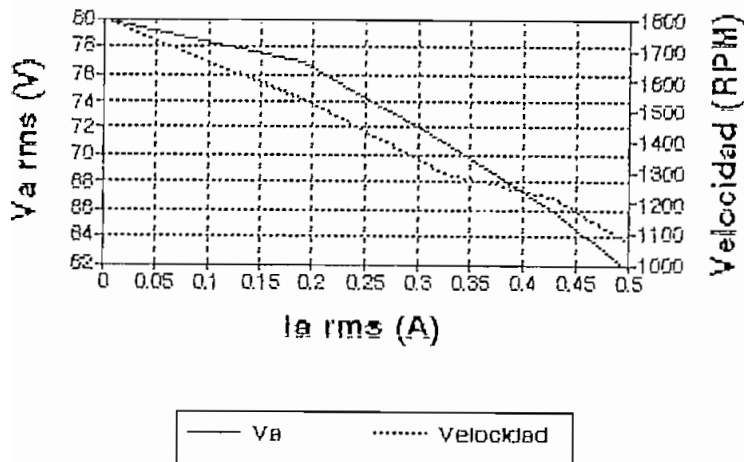
CARACTERISTICA RC If=3 A

Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia

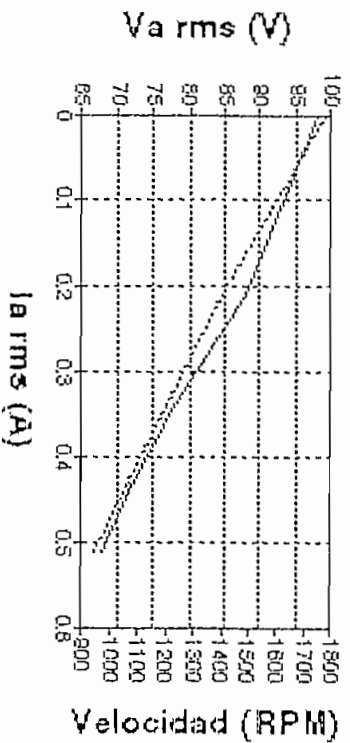


CARACTERISTICA RC If=4 A

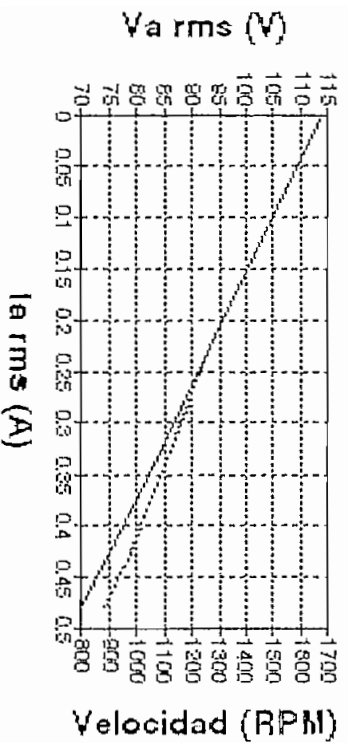
Va rms = f (Ia rms)



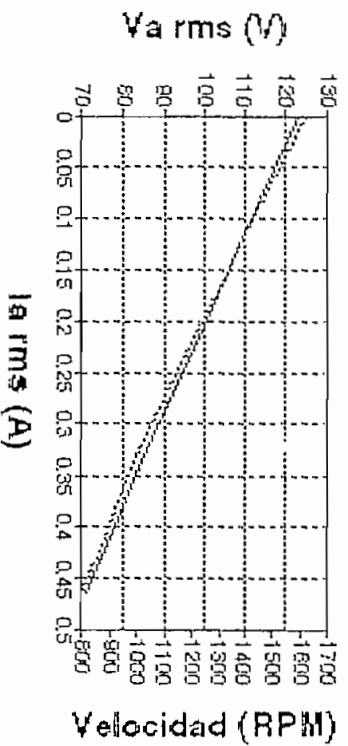
CARACTERÍSTICA RC II=5 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERÍSTICA RC II=6 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERÍSTICA RC II=7 A
Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



4.4.6 CARGA INDUCTIVA CAPACITIVA

En la tabla 6 se observa los resultados de esta prueba. las variaciones de los voltajes por fase, frente a las variaciones de carga son apreciables, es decir el generador se comporta en forma inestable. debido a que existe una compensación de carga con al máquina.

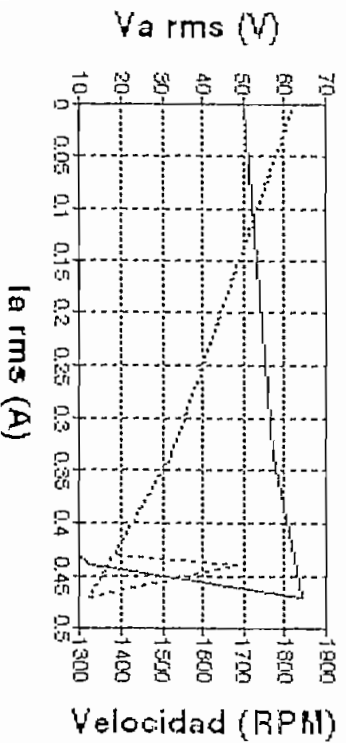
En las características se puede observar el predominio capacitivo para corrientes de campo menores de 3A, para valores mayores de este, el generador se comporta como si estuviera conectado carga inductiva, como en los casos anteriores la regulación de voltaje es pobre.

Si las cargas son equivalentes se llegara al caso de tener la característica de resonancia en el generador.

$V_{cc} = 50 \text{ V}$ $r_s = 10.5 \text{ OHM}$ CARGA 1 = 1 H + 10 μF
 $L_{ass} = 0.251 \text{ H}$ $r_p = 1.9 \text{ OHM}$ CARGA 2 = 0.5 H + 20 μF
 $L_{bss} = 0.259 \text{ H}$ $N_C = 80$ CARGA 3 = 0.33 H + 30 μF
 $L_o = 0.06795 \text{ H}$ $N_A = 250$ CARGA 4 = 0.25 H + 40 μF

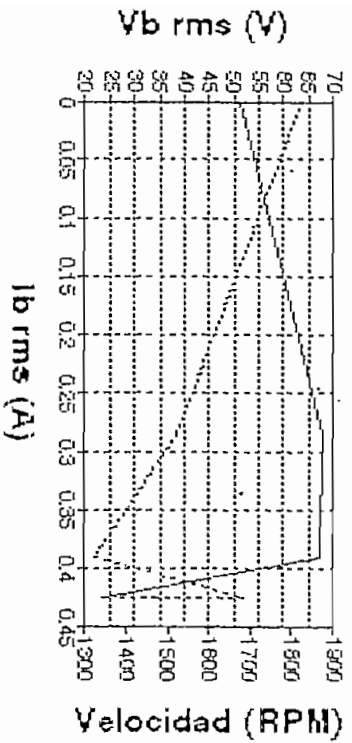
Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	# A	Veloc. r.p.m.	Vf V	Vfr V	Rf ohm	Vcc V	Reg. Vol fase a %	Reg. Vol fase b %	REND. na%
0.42	0.40	0.00	0.00	50.00	51.00	0	2.3	1820	4.00	46.00	20.00	50.00			
19.00	2.00	0.34	0.29	57.00	58.00	1	2.3	1520	4.00	46.00	20.00	50.00	-12.28	-25.00	61.99
18.00	0.50	0.47	0.39	64.00	67.00	2	2.3	1320	4.00	46.00	20.00	50.00	-21.88	-23.88	58.46
3.20	10.20	0.44	0.43	12.00	24.00	3	2.3	1680	4.00	46.00	20.00	50.00	316.67	112.50	20.38
2.80	8.40	0.43	0.43	10.00	23.50	4	2.3	1380	4.00	46.00	20.00	50.00	400.00	117.02	18.41
0.60	0.60	0.00	0.000	61.00	63.00	0	3	1820	5.00	45.00	15.00	50.00			
27.00	7.80	0.70	0.223	75.00	70.00	1	3	1420	5.00	45.00	15.00	50.00	-18.67	-10.00	54.17
29.00	7.20	0.98	0.210	76.00	60.00	2	3	1240	5.00	45.00	15.00	50.00	-19.74	5.00	51.07
22.00	1.00	1.15	0.110	78.00	34.00	3	3	1080	5.00	45.00	15.00	50.00	-21.79	85.29	41.06
13.00	8.60	1.21	0.840	80.00	30.00	4	3	940	5.00	45.00	15.00	50.00	-23.75	110.00	28.22
1.20	1.20	0.00	0.000	81.00	83.00	0	4	1780	6.00	44.00	11.00	50.00			
4.00	25.00	0.65	0.490	92.00	66.00	1	4	1200	6.00	44.00	11.00	50.00	-11.96	25.76	9.99
16.00	22.00	0.87	0.560	88.00	60.00	2	4	1080	6.00	44.00	11.00	50.00	-7.95	38.33	28.80
12.00	20.00	1.00	0.600	42.50	56.00	3	4	920	6.00	44.00	11.00	50.00	90.59	48.21	22.18
7.20	19.00	1.10	0.650	42.00	55.50	4	4	900	6.00	44.00	11.00	50.00	92.86	49.55	13.98
1.60	1.60	0.00	0.000	100.00	102.00	0	5	1680	8.00	42.00	8.40	50.00			
0.40	28.50	0.65	0.53	99.00	84.00	1	5	1180	8.00	42.00	8.40	50.00	1.01	21.43	0.74
0.38	26.00	0.85	0.61	95.00	74.00	2	5	1000	8.00	42.00	8.40	50.00	5.26	37.84	0.67
0.20	22.50	0.96	0.65	89.00	69.00	3	5	900	8.00	42.00	8.40	50.00	12.36	47.83	0.34
0.10	20.00	1.02	0.71	84.00	65.00	4	5	860	8.00	42.00	8.40	50.00	19.05	56.92	0.17
2.20	2.20	0.00	0.00	114.00	117.00	0	6	1750	10.00	40.00	6.67	50.00			
2.20	29.00	0.61	0.52	104.00	95.00	1	6	1140	10.00	40.00	6.67	50.00	9.62	23.16	2.87
1.50	25.00	0.83	0.520	98.00	84.00	2	6	1000	10.00	40.00	6.67	50.00	16.33	39.29	2.01
0.80	23.00	0.93	0.670	92.00	77.00	3	6	900	10.00	40.00	6.67	50.00	23.91	51.95	0.99
0.30	20.00	0.98	0.730	86.00	74.00	4	6	800	10.00	40.00	6.67	50.00	32.56	58.11	0.37

CARACTERISTICA LC If=2.3 A
 Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



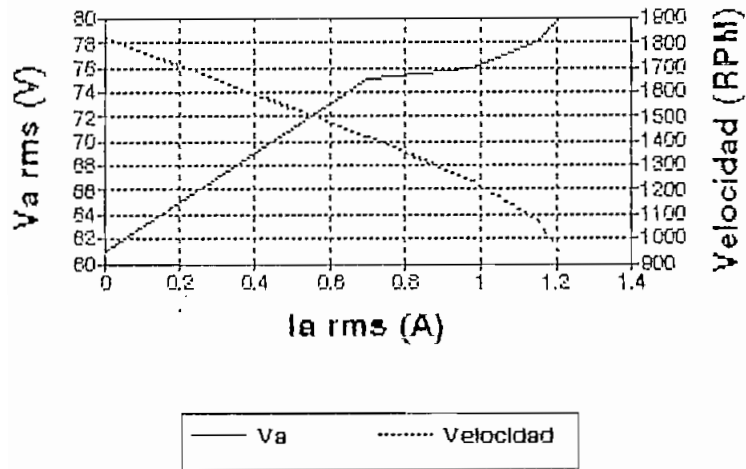
— Va Velocidad

CARACTERISTICA LC If=2.3 A
 Vb vs. Ib - Velocidad vs. Ia

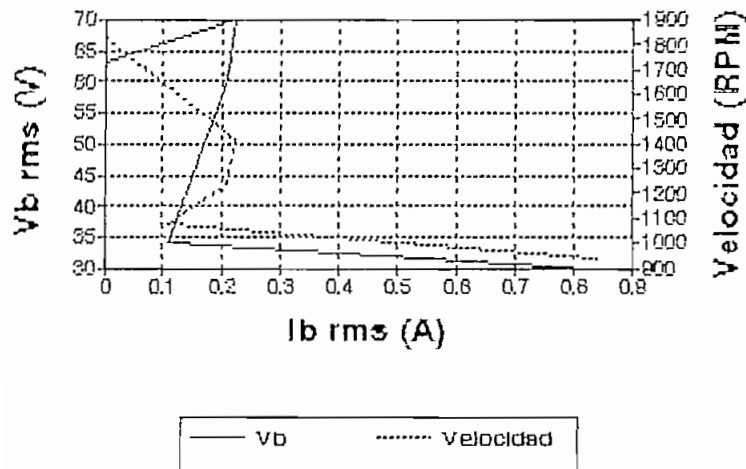


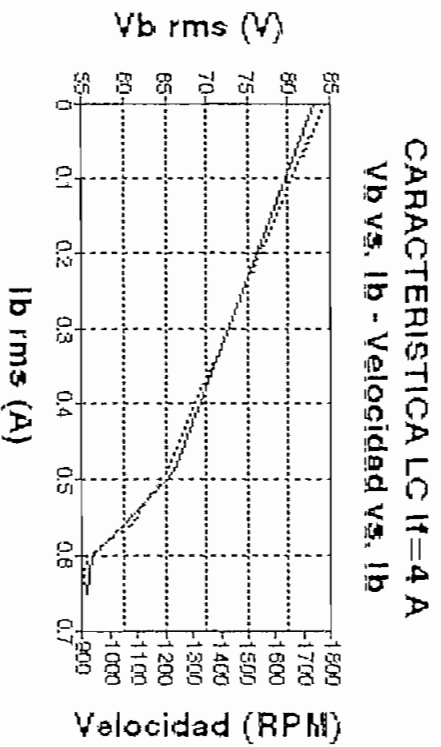
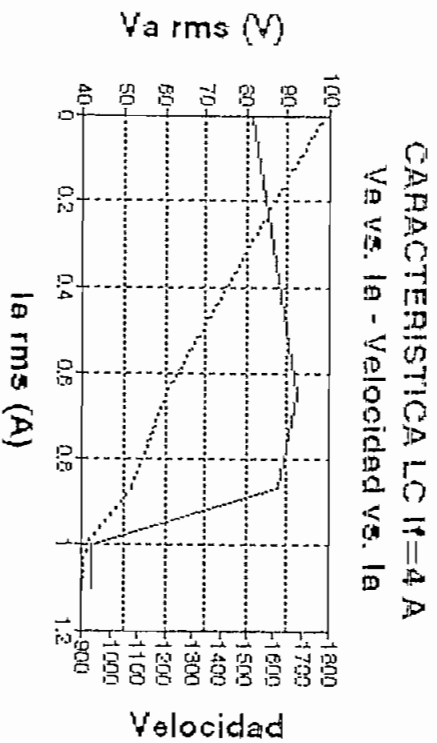
— Vb Velocidad

CARACTERISTICA LC If=3 A
 Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia

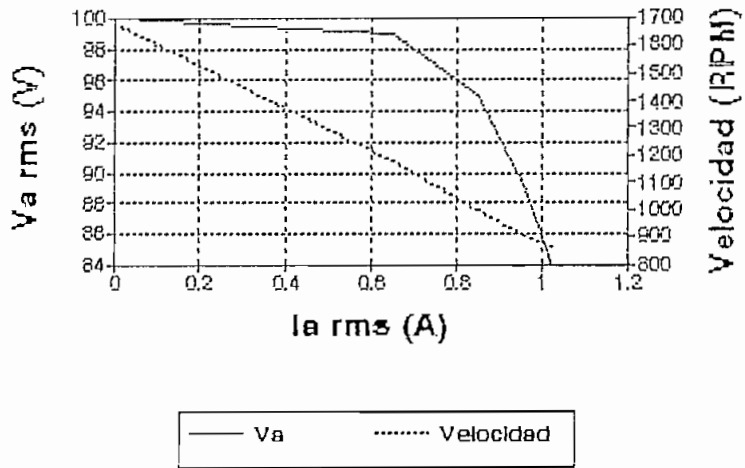


CARACTERISTICA LC If=3 A
 Vb vs. Ib - Velocidad vs. Ib

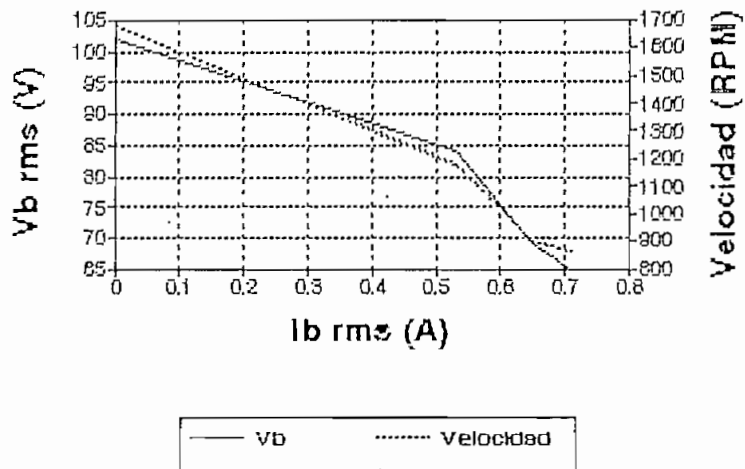




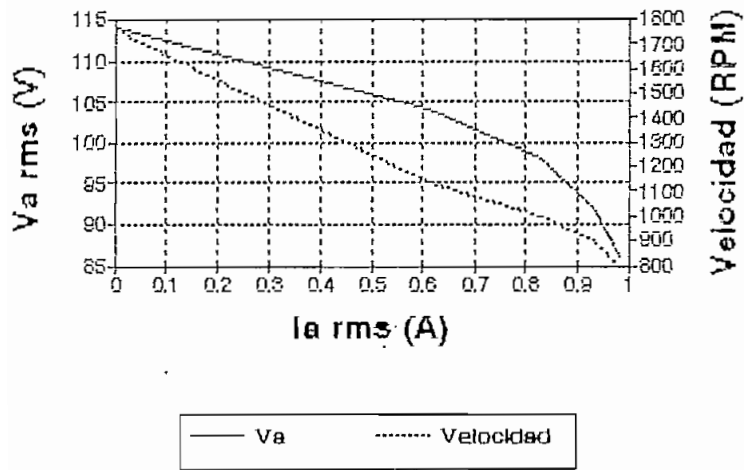
CARACTERISTICA LC If=5 A
 Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



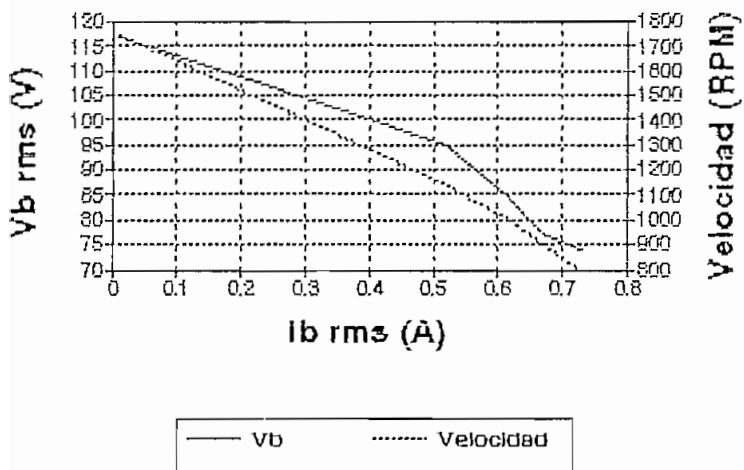
CARACTERISTICA LC If=5 A
 Vb vs. Ib - Velocidad vs. Ib



CARACTERISTICA LC If=6 A
 Va vs. Ia - Velocidad vs. Ia



CARACTERISTICA LC If=6 A
 Vb vs. Ib - Velocidad vs. Ib



4.4.7 CARGA RESISTIVA INDUCTIVA CAPACITIVA

Existe una compensación entre L y C de tal manera que tiene un comportamiento similar al resistivo, existe variaciones de voltaje en la carga por fase, hecho que influye en tener regulaciones de voltaje deficientes y variables por fase como se observa en la tabla 7.

Al igual que antes el predominio de carga es importante por que de esta manera se tiene un solo efecto mayor fente a los otros tipos de carga.

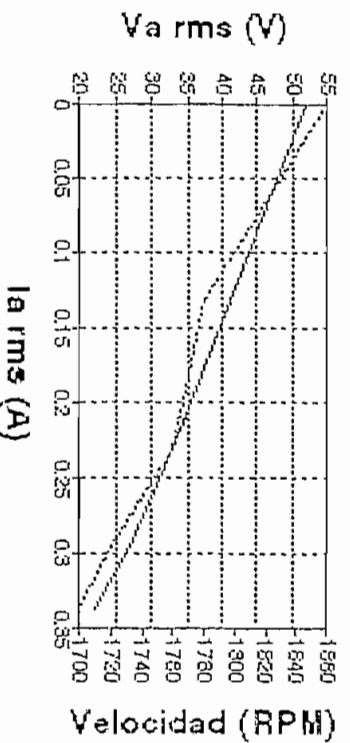
ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA CON CARGA RESISTIVA - INDUCTIVA - CAPACITIVA

T A B L A No. 7

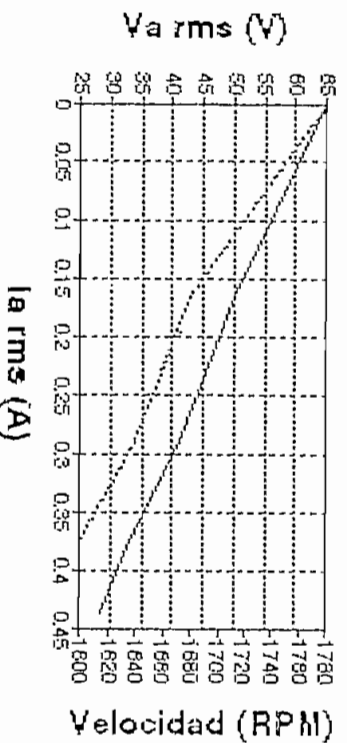
$V_{cc} = 50 \text{ V}$ $r_s = 10.5 \text{ OHM}$ CARGA 1 = 240 OHM + 1 H + 10 uF
 $L_{ass} = 0.251 \text{ H}$ $r_p = 1.9 \text{ OHM}$ CARGA 2 = 120 OHM + 0.5 H + 20 uF
 $L_{bss} = 0.259 \text{ H}$ $N_C = 80$ CARGA 3 = 80 OHM + 0.33 H + 30 uF
 $L_o = 0.06795 \text{ H}$ $N_A = 250$ CARGA 4 = 60 OHM + 0.25 H + 40 uF

Pa W	Pb W	Ia A	Ib A	Va V	Vb V	CAR GA	f A	Veloc. r.p.m.	Vf V	V fr V	Rf ohm	V fr V	Reg. Vol fase a %	Reg. Vol fase b %	REND. na%
0.60	0.60	0.000	0.000	52.00	54.00	0	2.3	1860	4.00	46.00	20.00	50.00			
5.20	5.20	0.132	0.084	41.00	44.00	1	2.3	1780	4.00	46.00	20.00	50.00	26.83	22.73	46.13
7.20	7.20	0.230	0.160	33.00	45.00	2	2.3	1760	4.00	46.00	20.00	50.00	57.58	20.00	52.76
7.40	9.40	0.295	0.230	27.00	41.00	3	2.3	1720	4.00	46.00	20.00	50.00	92.59	31.71	52.10
6.80	10.00	0.337	0.280	22.00	37.00	4	2.3	1700	4.00	46.00	20.00	50.00	136.35	45.95	48.98
0.80	0.80	0.000	0.000	65.00	68.00	0	3	1840	5.00	45.00	15.00	50.00			
8.20	6.60	0.165	0.100	50.00	60.00	1	3	1780	5.00	45.00	15.00	50.00	30.00	13.33	44.84
11.40	11.00	0.290	0.200	41.00	55.00	2	3	1680	5.00	45.00	15.00	50.00	58.54	23.64	51.62
11.80	13.60	0.375	0.280	33.00	50.00	3	3	1640	5.00	45.00	15.00	50.00	96.97	36.00	51.13
11.40	15.00	0.436	0.340	28.00	45.00	4	3	1600	5.00	45.00	15.00	50.00	132.14	51.11	49.15
1.20	1.20	0.000	0.000	84.00	86.00	0	4	1840	7.00	43.00	10.75	50.00			
14.20	10.00	0.220	0.120	64.00	75.00	1	4	1660	7.00	43.00	10.75	50.00	31.25	14.67	44.50
20.80	14.40	0.385	0.220	54.00	64.00	2	4	1440	7.00	43.00	10.75	50.00	55.56	34.38	52.58
22.80	16.20	0.510	0.290	48.00	57.00	3	4	1280	7.00	43.00	10.75	50.00	75.00	50.88	53.36
24.00	16.60	0.600	0.350	47.00	51.00	4	4	1100	7.00	43.00	10.75	50.00	78.72	68.63	53.36
1.60	1.60	0.000	0.000	100.00	104.00	0	5	1800	8.00	42.00	8.40	50.00			
20.60	11.80	0.260	0.130	75.00	82.00	1	5	1460	8.00	42.00	8.40	50.00	33.33	26.83	43.00
26.00	14.40	0.420	0.220	66.00	68.00	2	5	1180	8.00	42.00	8.40	50.00	51.52	52.94	47.75
27.00	15.00	0.530	0.290	60.00	58.00	3	5	1000	8.00	42.00	8.40	50.00	56.67	79.31	47.75
23.00	15.40	0.580	0.350	58.00	54.00	4	5	920	8.00	42.00	8.40	50.00	72.41	92.59	43.29
2.20	2.20	0.000	0.000	116.00	120.00	0	6	1740	11.00	39.00	6.50	50.00			
5.00	12.40	0.280	0.132	84.00	87.00	1	6	1300	11.00	39.00	6.50	50.00	38.10	37.93	11.36
5.20	15.40	0.420	0.240	72.00	71.00	2	6	1060	11.00	39.00	6.50	50.00	51.11	69.01	11.49
4.80	16.40	0.510	0.315	67.00	63.00	3	6	900	11.00	39.00	6.50	50.00	73.13	90.48	10.50
4.20	16.60	0.560	0.380	63.00	59.00	4	6	840	11.00	39.00	6.50	50.00	84.13	103.39	9.19

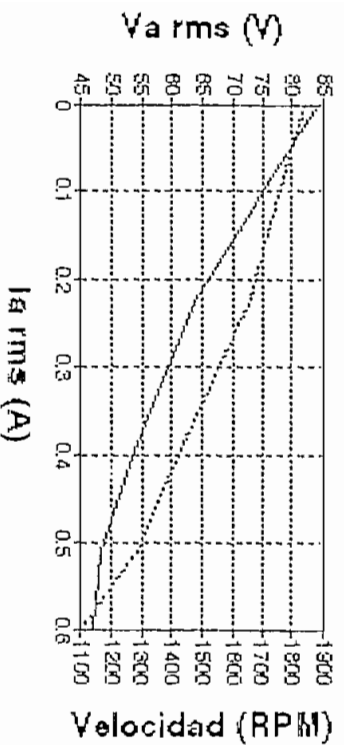
**CARACTERISTICA RLC $I_f=2.3 A$
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a**



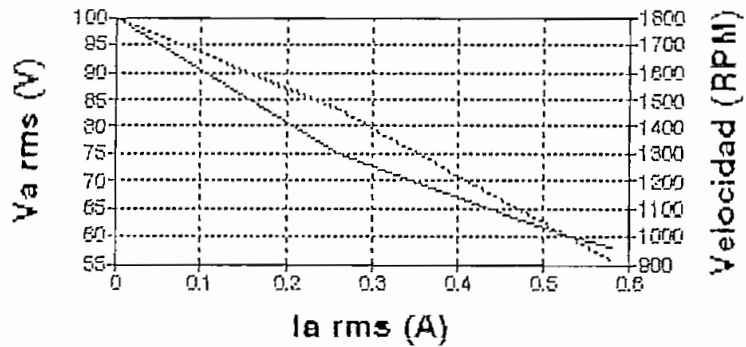
**CARACTERISTICA RLC $I_f=3 A$
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a**



**CARACTERISTICA RLC $I_f=4 A$
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a**

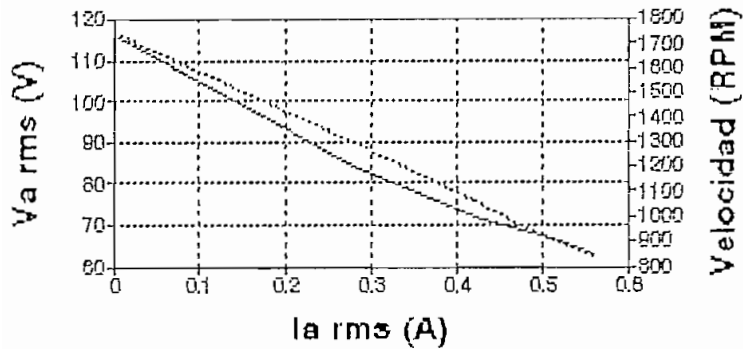


CARACTERÍSTICA RLC $I_f=5$ A
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a



— V_a Velocidad

CARACTERÍSTICA RLC $I_f=6$ A
 V_a vs. I_a - Velocidad vs. I_a



— V_a Velocidad

4.5 CORTOCIRCUITO

4.5.1 CARACTERÍSTICA DE CORTOCIRCUITO

Para esta prueba se cortocircuita los devanados de armadura trabajando a velocidad nominal, se fija varios valores de corriente de campo, se toma valores de las lecturas de las corrientes de cortocircuito, hasta llegar al valor de la corriente nominal de campo o un valor ligeramente superior a este.

La característica de cortocircuito es prácticamente lineal, esto se debe a que el hierro no está saturado al valor nominal de la corriente de armadura o más aún a valores superiores a este no ocurre la saturación.

Para valores mayores de I_f (8A) el generador se comporta en forma inestable, llegando inclusive a tener una pérdida muy considerable de velocidad e incluso a pararse.

De acuerdo a la ecuación 2.7 se espera que la corriente i_a aumente, pero por las limitaciones físicas y construcción de la máquina esto no se da, debido a que en esta característica y prueba se la realiza hasta la corriente de campo nominal caso contrario puede comportarse como transformador y llegaría a quemarse los bobinados de campo.

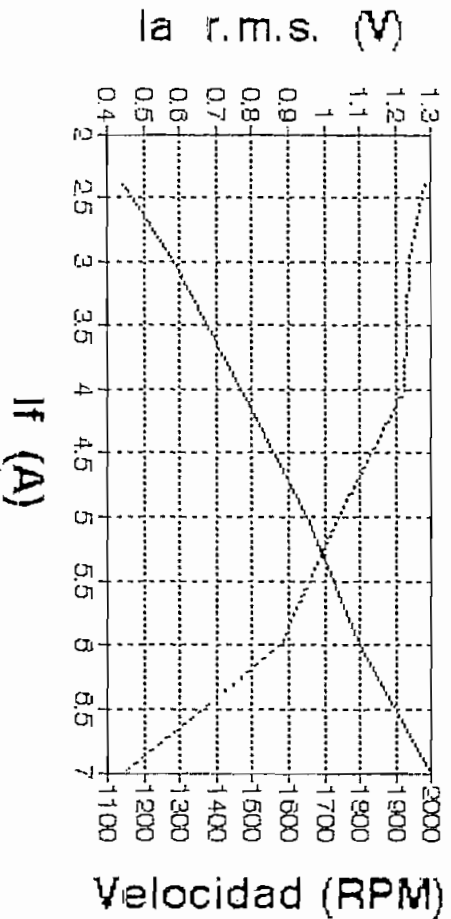
A continuación se presenta los resultados obtenidos en laboratorio como la característica de cortocircuito.

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA EN CORTOCIRCUITO

$V_{cc} = 50 \text{ V}$ $r_s = 10.5 \text{ OHM}$
 $L_{ass} = 0.251 \text{ H}$ $r_p = 1.9 \text{ OHM}$
 $L_{bss} = 0.259 \text{ H}$ $N_C = 80$
 $L_o = 0.06795 \text{ H}$ $N_A = 250$

P_a W	P_b W	I_a A	I_b A	I_f A	Veloc. r.p.m.	V_f V	V_{fr} V	R_f ohm	V_{fr} V
1.00	1.00	0.44	0.45	2.4	1980	4.00	46.00	19.17	50.00
1.60	1.80	0.58	0.58	3	1940	5.00	45.00	15.00	50.00
2.70	2.80	0.77	0.77	4	1920	6.75	43.00	10.75	49.75
4.20	4.20	0.95	0.95	5	1740	8.50	42.10	8.42	50.60
5.96	5.96	1.10	1.11	6	1580	10.00	40.20	6.70	50.20
7.50	7.20	1.30	1.30	7	1140	12.40	38.00	5.43	50.40

CARACTERISTICA DE CORTOCIRCUITO I_a r.m.s. vs. I_f



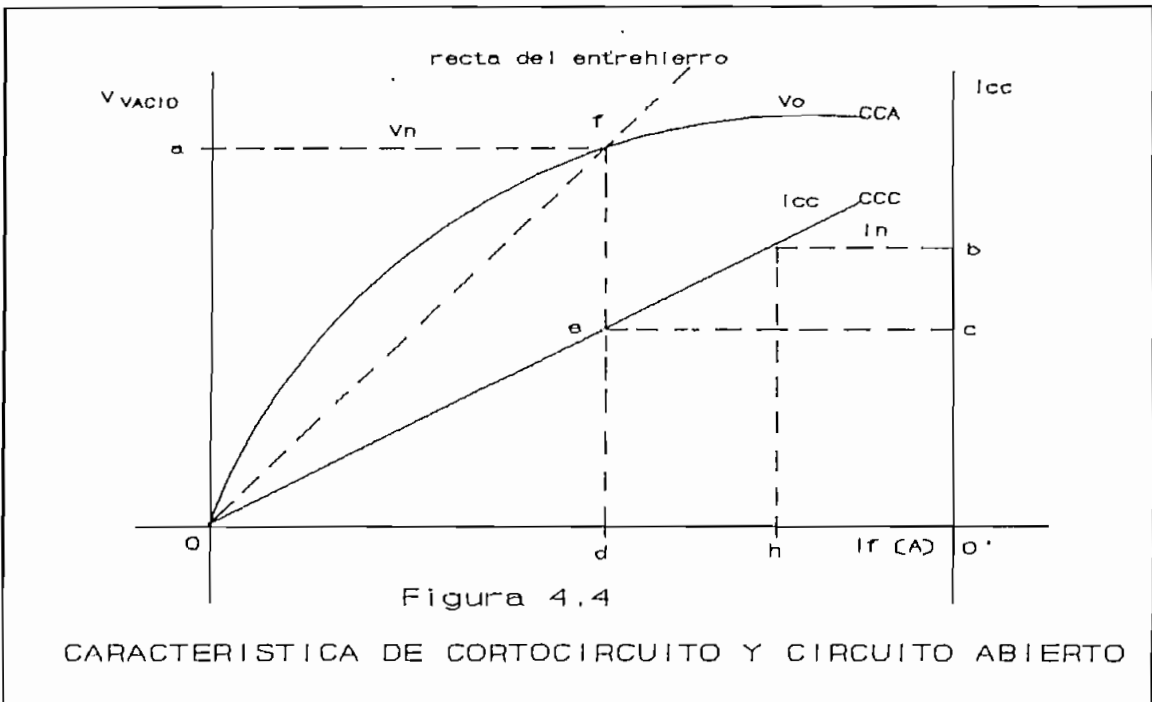
4.5.2 IMPEDANCIA SINCRONICA NO SATURADA

La característica de cortocircuito y de vacío del generador de reluctancia se presenta en la figura 4.4 la reactancia sincrónica es la relación entre el voltaje nominal en vacío y la corriente de cortocircuito, de acuerdo a la figura 4.3 es la relación de las ordenadas de estas dos curvas cuya relación es siempre constante si se toma un valor de corriente de campo I_f para el cual el circuito magnético no está saturado para la prueba de circuito abierto por lo que de la figura se tiene:

$$X_s \text{ no sat} = oa / o'b$$

Tomando un valor de corriente de campo al cual la característica de vacío no sea una línea recta, a este valor se le conoce como la reactancia sincrónica saturada, se escoge un valor de la tensión nominal por lo que:

$$X_s \text{ sat} = oh / o'c$$



4.5.3 RELACION DE CORTOCIRCUITO

La relación de cortocircuito (RCC) es la relación de la corriente de campo I_f a voltaje y velocidad nominal en vacío, y la corriente de campo nominal de la característica de cortocircuito; esta da una medida del tamaño físico de una máquina dada a un valor nominal de KVA, factor de potencia y velocidad por lo que:

$$RCC = I_{fd} / I_{fn}$$

4.5.4 EFECTO DE LA RCC EN EL GENERADOR

Un valor bajo de la RCC significa que la reactancia sincrónica X_s es alta y afecta al generador en:

- Posee cambios considerables de voltaje con las fluctuaciones de la carga, es decir la regulación es pobre.
- Permite que tenga un límite de estabilidad bajo ya que este valor es inversamente proporcional al valor de X_s .
- Un valor menor de corriente en condiciones de cortocircuito debido al valor alto de X_s .
- Presenta dificultades para operación en paralelo debido al alto valor de X_s que da una potencia de sincronización pequeña, que es la que mantiene a la máquina en sincronismo.
- Si se alimenta a L/T largas, pueden presentar valores elevados producidos por la autoexcitación propia debida al valor de la capacidad en la L/T.

4.6 CARACTERISTICA DE VELOCIDAD

Esta prueba se la realiza a voltaje y corriente de campo constante e igual a la nominal en vacío, se varía la velocidad por medio del primotor, se observa que el voltaje de armadura aumenta prácticamente en forma lineal con el aumento de la velocidad.

El efecto de la linealidad en esta prueba se lo obtuvo por la variación de la corriente de excitación tanto en vacío como con carga.

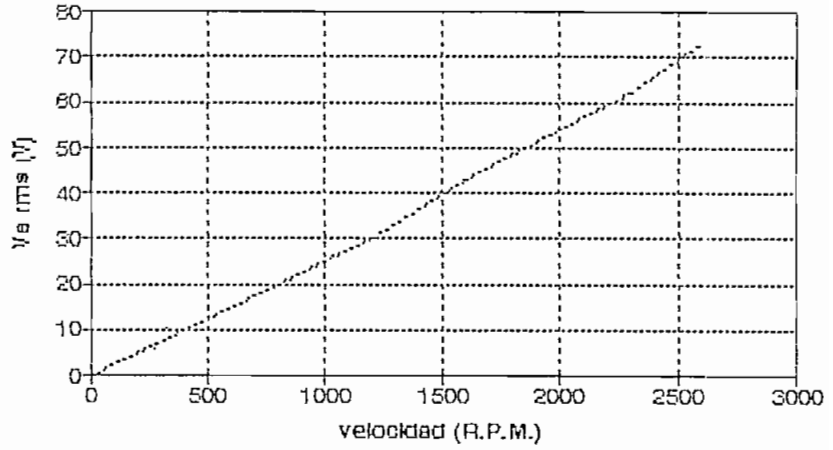
Un incremento de la corriente de campo da lugar a un incremento del voltaje de armadura, ciertos cambios de voltaje y velocidad se pueden atribuir a errores de apreciación en medición de velocidad y voltaje, pero los resultados son aceptables.

ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA
 POR VARIACION DE LA VELOCIDAD EN VACIO

$V_{cc} = 50 \text{ V}$
 $L_{\text{des}} = 0.251 \text{ H}$
 $L_{\text{ss}} = 0.258 \text{ H}$
 $L_o = 0.06785 \text{ H}$
 $r_s = 10.5$
 $r_p = 1.8 \text{ OHM}$
 $I = 2.4 \text{ A}$
 $N_C = 80$
 $N_A = 250$

Veloci. r.p.m.	V_a V
0	0
800	20
1000	25
1200	30
1600	43
2000	54
2050	56
2300	62
2800	73

CARACTERISTICA DE VELOCIDAD
 $V_a \text{ rms (V)} = f(n \text{ (R.P.M.)})$



----- VACIO

4.7 ANALISIS DEL GENERADOR DE RELUCTANCIA COMO MOTOR

El generador de reluctancia por poseer limitaciones físicas y mecánicas, no trabaja como motor, debido a que no puede vencer el torque de arranque, por lo que no se puede realizar las pruebas con respecto a este tópico, por lo que se da por fundamentado las ecuaciones expresadas en el capítulo II.

En la simulación digital se obtiene las corrientes, voltajes, potencias y torque del motor de reluctancia, que se toman por acertadas, de acuerdo al análisis matemático realizado.

CAPITULO V

ANALISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS

5.1 INTRODUCCION

El generador de reluctancia por su construcción física posee sus rotores desfasados 90° mecánicos, los cuales hacen que genere su voltaje y corriente desfasados 90° , cualquier variación de la posición relativa de los rotores influirá para que las formas de onda tanto de voltaje como de corriente sean desfasadas cantidad similar al desfazamiento del rotor, matemáticamente se observa que existe un desplazamiento de los parámetros voltaje como corriente conservando sus magnitudes y forma de onda características, esto se debe a que el acoplamiento mutuo entre primario y secundario de las bobinas, se desplaza en sentido lineal de acuerdo al ángulo existente entre rotores.

Los rotores pese a estar desfasados un cierto ángulo por fase, deben estar desfasado 90° entre fases.

La máquina existente en laboratorio, por su construcción y limitaciones físicas, mecánicas y eléctricas, no puede funcionar como motor, debido a la robustez de su parte rotórica.

Sus bobinados pueden ser cambiados, existen pares de bobinas disponibles para realizar cualquier otro tipo de prueba, para esto se necesita conocer los valores de inductancias de estas bobinas, o del número de vueltas tanto del campo como de la armadura, para realizar la simulación; físicamente las bobinas dispuestas en la máquina debe colocarse en la posición adecuada caso contrario se obtiene voltajes y corrientes distorsionadas.

5.2 ANALISIS DE RESULTADOS CON RESPECTO AL GENERADOR DE RELUCTANCIA DE LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

En términos generales los resultados obtenidos tanto del programa como de laboratorio son coincidentes en su mayor parte, ciertas variaciones del programa se considera debido a los siguientes tópicos:

- 1.- Resistencias e inductancias diferentes en la construcción del generador (no simétricas).
- 2.- Limitación de instrumentos adecuados para medir tanto los voltajes y corrientes con el verdadero valor RMS debido a la forma de onda propia de cada uno de los casos analizados en laboratorio, datos que sirven para la simulación.
- 5.- De acuerdo a las ecuaciones presentadas en el capítulo II depende mucho la forma de onda de el sumatorio de los términos enésimos, para lo cual se ajusta el programa para $n=10$ dando resultados considerablemente buenos.
- 6.- Se presenta las características del generador de reluctancia y el número de términos para analizar (pasos de integración), este efecto influye en los valores de las inductancias del generador.
- 7.- En el programa se pide el número de vueltas tanto para el campo como para la armadura, los que dan una aproximación de las inductancias de armadura, que es lo que se necesita para realizar la simulación en cada caso.
- 8.- Por la construcción misma de la máquina se observa de acuerdo a las pruebas realizadas en laboratorio, la inestabilidad del prototipo con carga L y LC, que sus formas de onda son distorcionadas con respecto a las del programa como también sus

valores.

9.- Se observa en cargas tipo inductivas que se produce diferentes formas de onda como de magnitudes por fase y se producen estas por la deficiencia del acoplamiento entre campo y armadura y posiblemente al flujo magnético generado pero no aprovechado totalmente por efecto de los rotores que por su construcción no son prácticamente idénticos como se esperaría.

10.- Para carga tipo RC se observa ciertas diferencias en las corrientes por fase, posiblemente al efecto de saturación del hierro, para corrientes mayores de 3 A.

11.- Existe para carga RC ciertas variaciones en las forma de onda para 2.3 A que no se la aprecia pero está presente si se observa con mayor detenimiento, en el gráfico de la simulación que tiene esta tendencia, mejorando la variación para corrientes de campo mayores.

12.- Para carga LC se observa formas de onda triangulares, tendiendo a ser sinusoidales, este efecto se da por un predominio de la carga capacitiva frente a la inductiva, tanto de la carga como de la máquina. Presenta variaciones en las formas de onda de corrientes y voltajes debido una inestabilidad para este tipo de carga.

13.- En carga RLC se observa variaciones de corriente y voltaje por fase, debido a que las impedancias de los bobinados de armadura tratan en mayor o menor forma de anularse ($X_L - X_C \approx 0$) con las cargas, como no se lo logra totalmente se tiene esta variación.

A continuación se presenta los resultados de la simulación digital y los resultados del laboratorio de máquinas eléctricas.

DATOS DE ANALISIS PARA CARACTERISTICA	
---------------------------------------	--

$L_{pp} = 0.053 H.$

$L_{ass} = 0.2588 H.$

$L_{bss} = 0.2588 H.$

$L_o = 0.06795 H.$

Entrehierro $g = 1.1 \text{ mm.}$

número de espiras de campo = 80

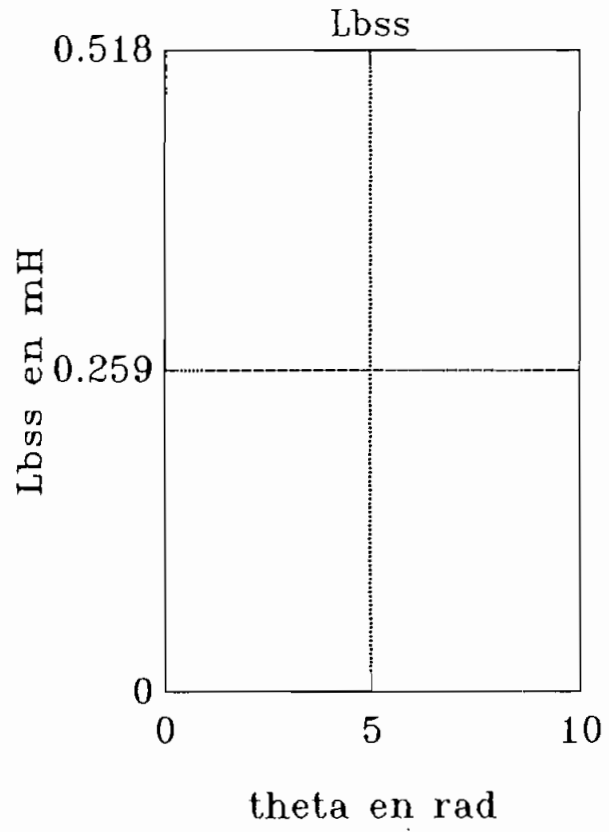
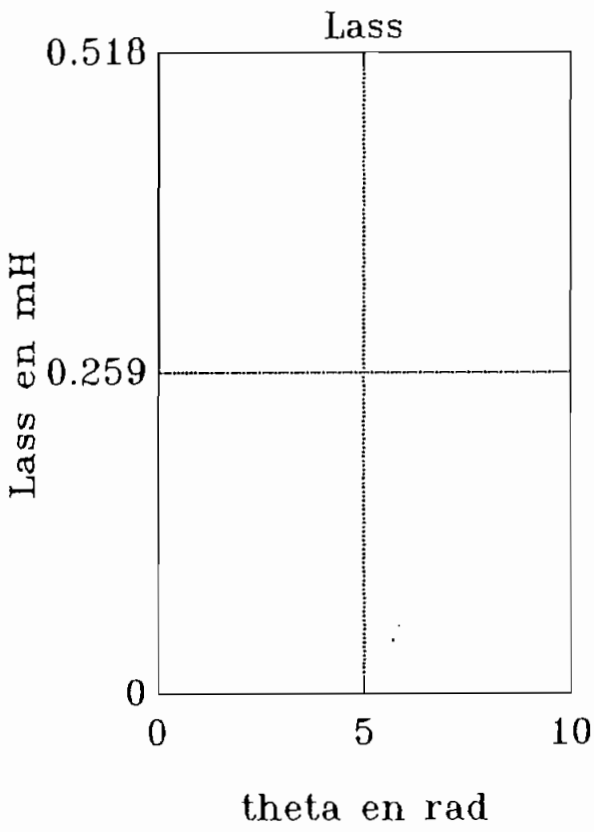
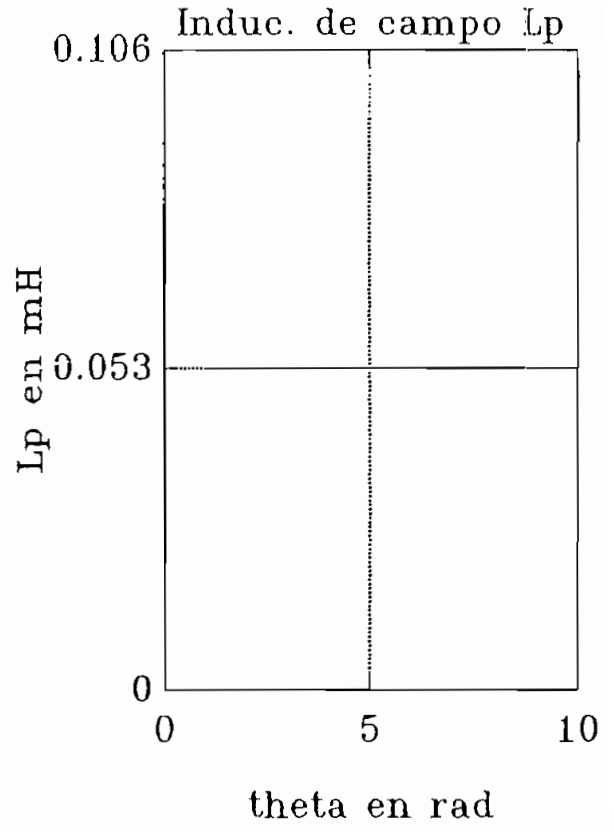
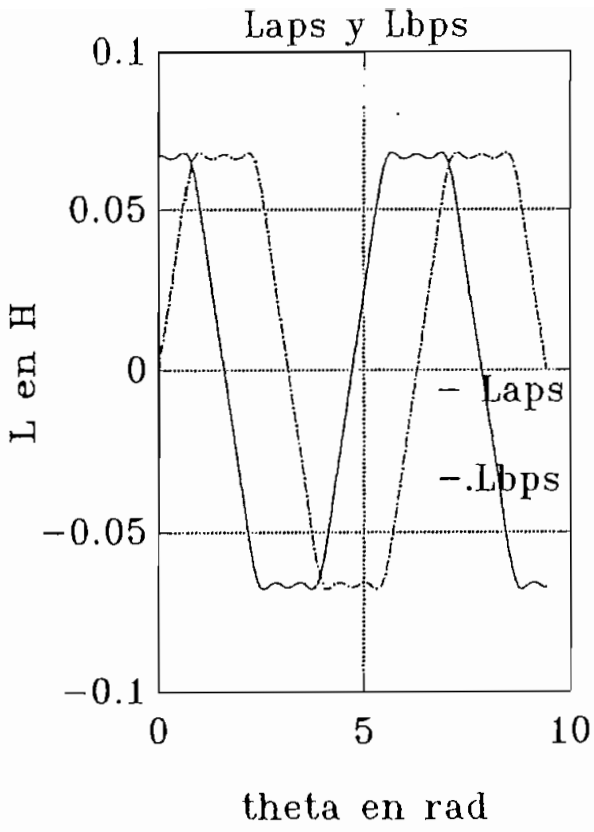
número de espiras de armadura = 250

Distancia Polos "D" = 95.1 mm.

Diámetro Rotor "d" = 94 mm.

Sector Rotor y/o Estator "S" = 70 mm.

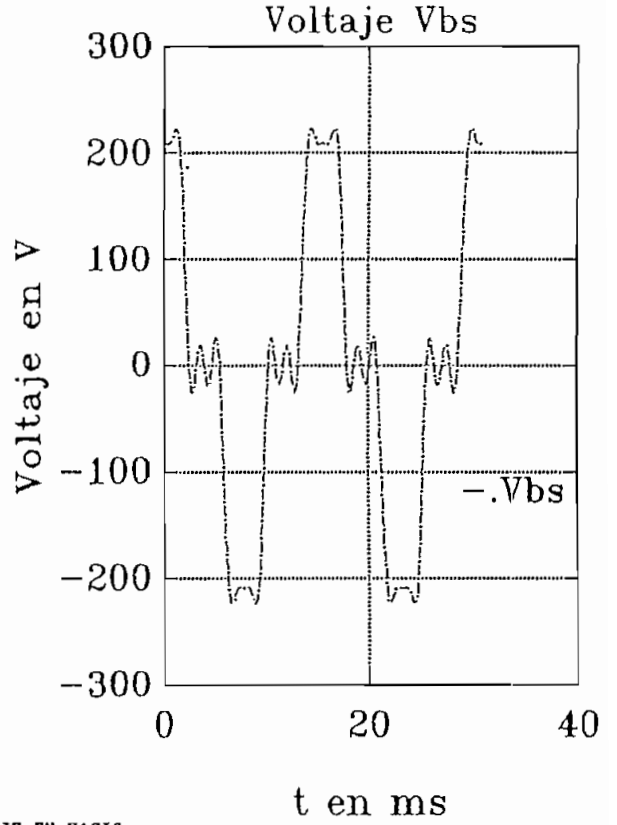
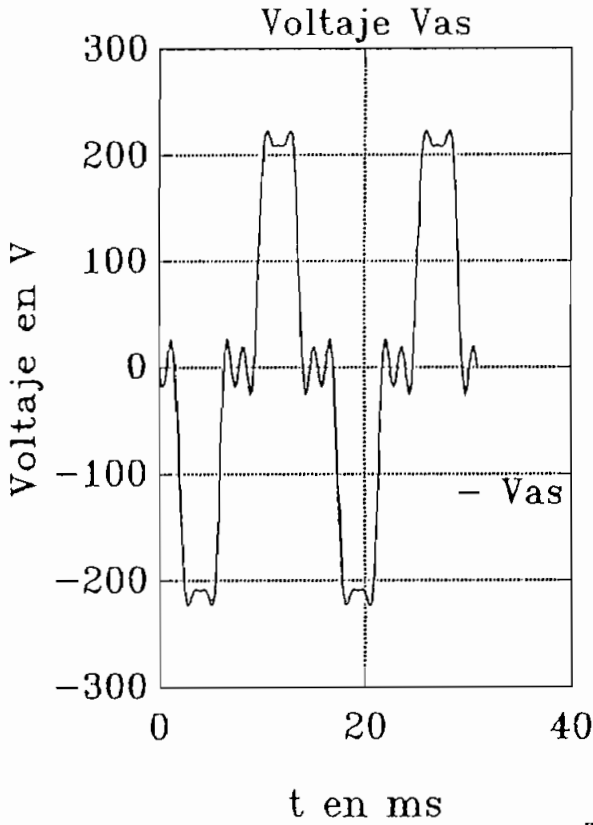
Longitud Rotor y/o Estator "L" = 37 mm.



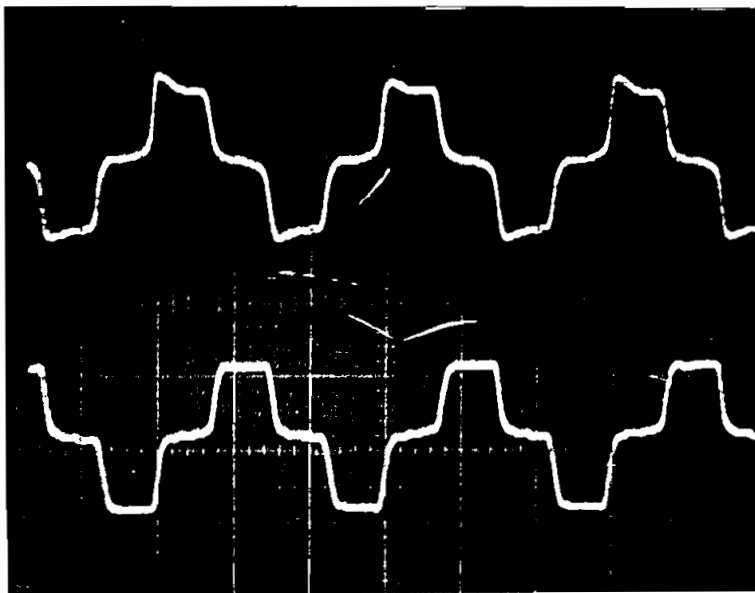
DATOS DE ANALISIS EN VACIO

L_{ass} = 0.251 H.
 L_{bss} = 0.259 H.
 L_o = 0.06795 H.
 r_s = 10.5 Ω .
 I_f = 6 A.
 velocidad del rotor = 1940 r.p.m.
 número de polos = 2
 frecuencia de salida = 64.67 Hz.

"VACIO"



VOLTAJE EN VACIO



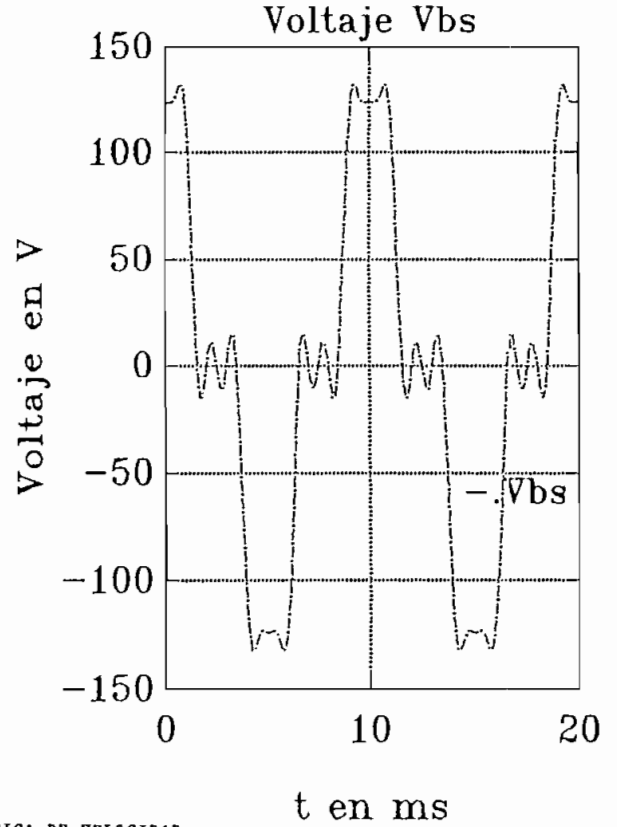
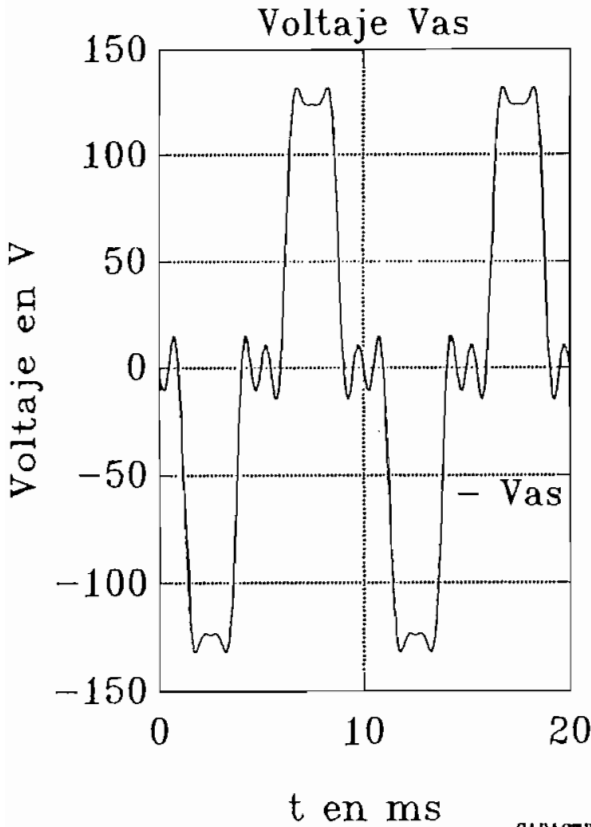
EJE X 5 ns/cm
 EJE Y 100 V/div

$I_f = 6$ A
 1940 rpm

DATOS DE ANALISIS EN VACIO

L_{ass} = 0.251 H.
 L_{bss} = 0.259 H.
 L_o = 0.06795 H.
 r_s = 10.5 Ω .
 I_f = 2.3 A.
 velocidad del rotor = 3000 r.p.m.
 número de polos = 2
 frecuencia de salida = 100 Hz.

"VACIO"



CARACTERISTICA DE VELOCIDAD



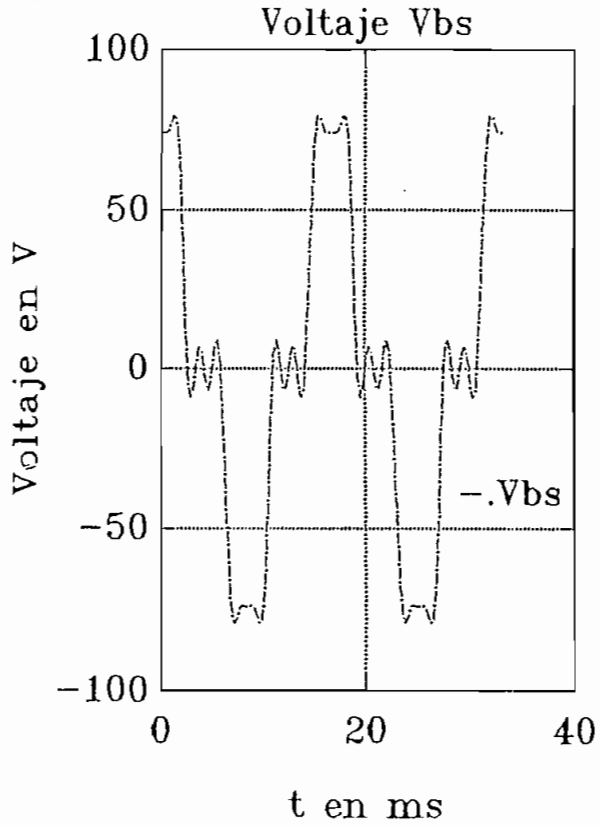
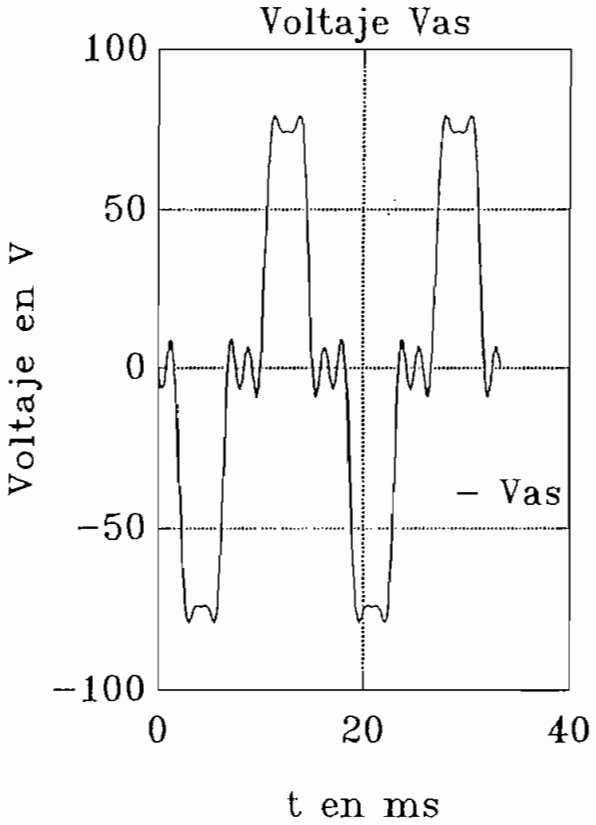
EJE X 5 ms/cm
 EJE Y 100 V/div

 $I_f = 2.3$ A
 3000 rpm

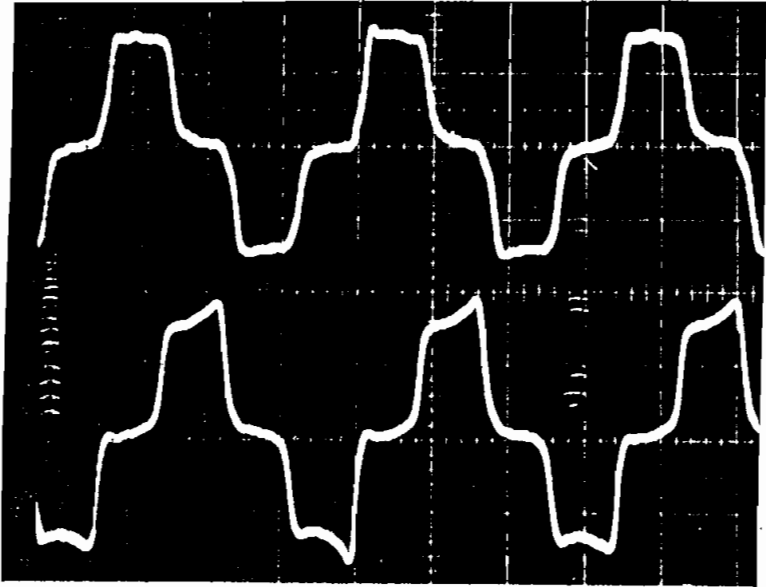
DATOS DE ANALISIS EN VACIO

L_{ass} = 0.251 H.
 L_{bss} = 0.259 H.
 L_o = 0.06795 H.
 r_s = 10.5 Ω .
 I_f = 2.3 A.
 velocidad del rotor = 1800 r.p.m.
 número de polos = 2
 frecuencia de salida = 60 Hz.

"VACIO"



CARACTERISTICA DE VELOCIDAD



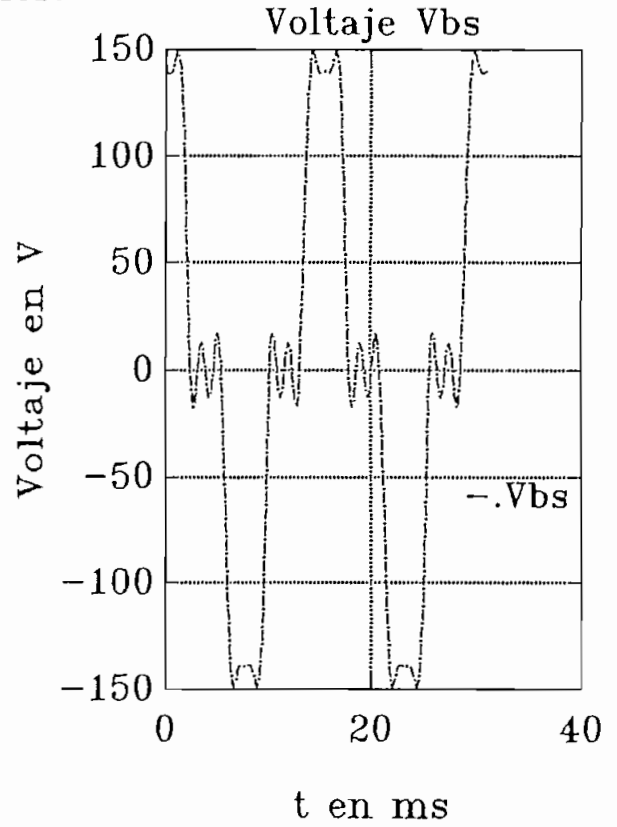
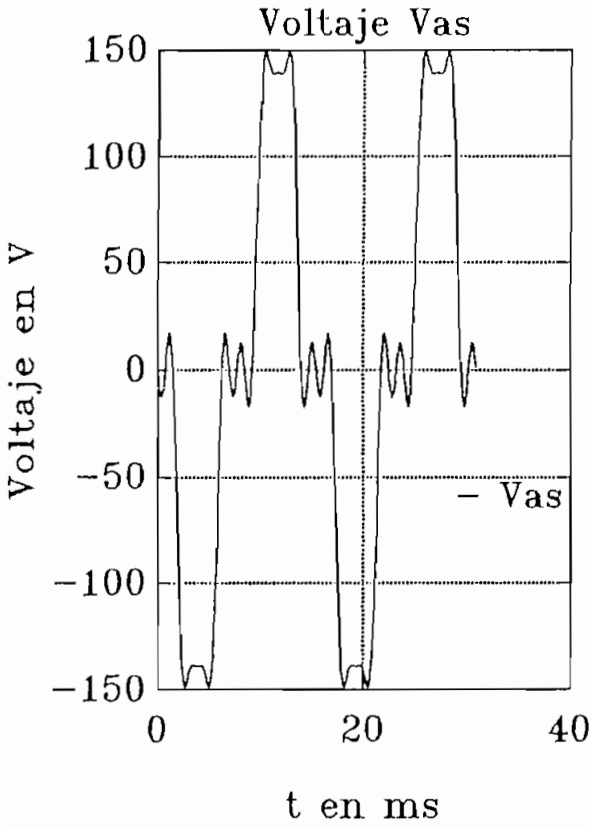
EJE X 5 ms/cm
 EJE Y 50 V/div

 $I_f = 2.3$ A
 1800 rpm

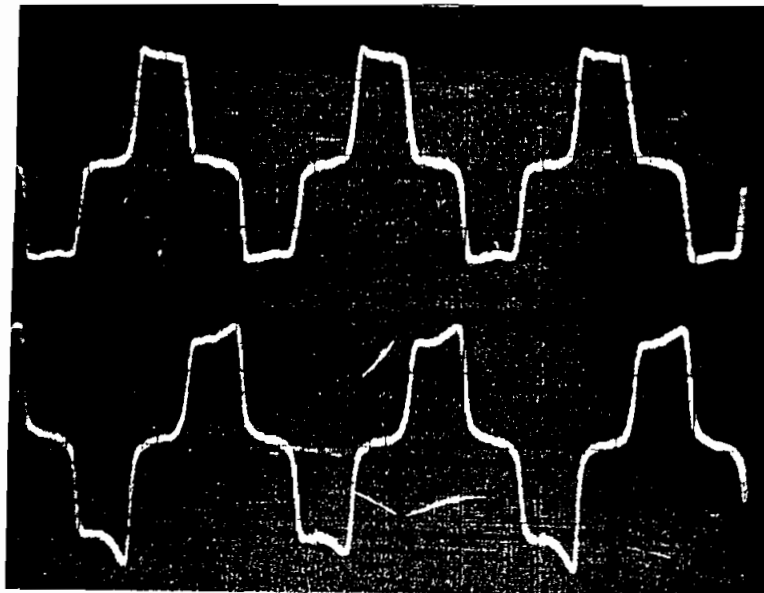
DATOS DE ANALISIS EN VACIO

L_{ass} = 0.251 H.
 l_{bss} = 0.259 H.
 L_o = 0.06795 H.
 r_s = 10.5 Ω .
 I_f = 4 A.
 velocidad del rotor = 1940 r.p.m.
 número de polos = 2
 frecuencia de salida = 64.67 Hz.

"VACIO"



VOLTAJE DE VACIO



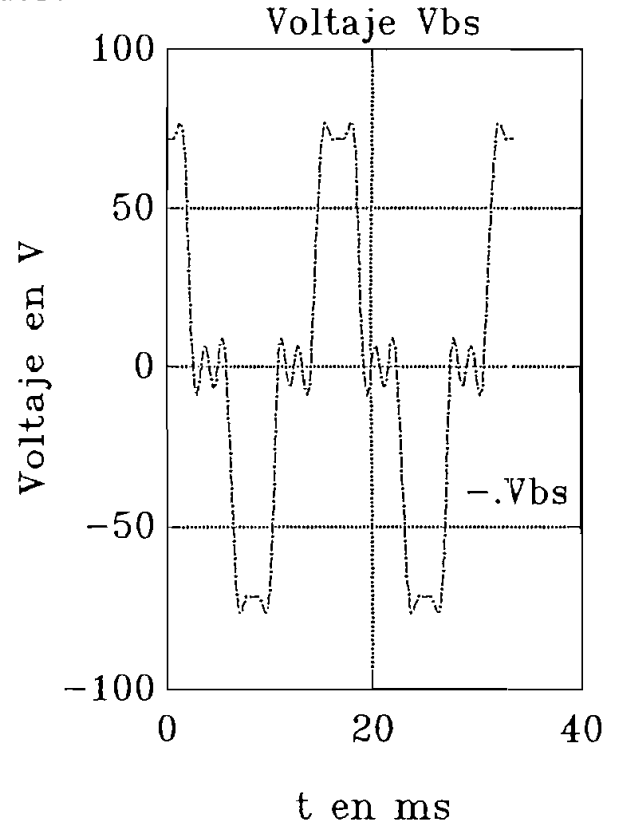
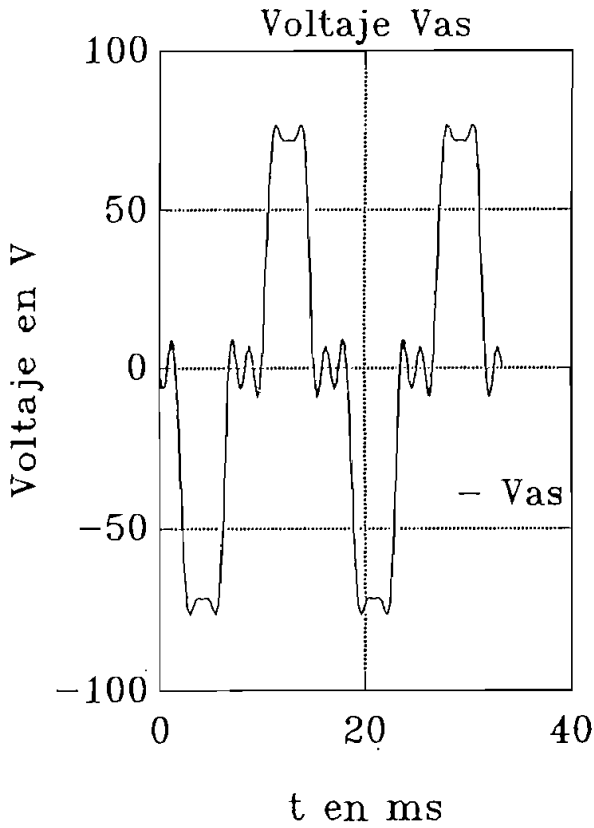
EJE X 5 ns/cm
 EJE Y 100 V/div

 $I_f = 4$ A
 1940 rpm

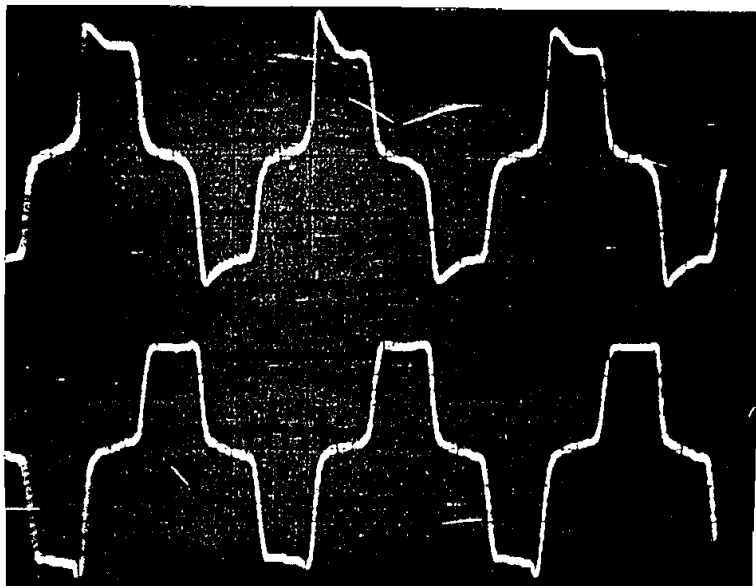
DATOS DE ANALISIS EN VACIO

L_{ass} = 0.251 H.
 l_{bss} = 0.259 H.
 L_o = 0.06795 H.
 r_s = 10.5 Ω .
 I_f = 2.22 A.
 velocidad del rotor = 1800 r.p.m.
 número de polos = 2
 frecuencia de salida = 60 Hz.

"VACIO"



VOLTAJE DE VACIO



EJE X 5 ms/cm
 EJE Y 50 V/div

$I_f = 2.22$ A
 1800 rpm

DATOS DE ANALISIS PARA CORTOCIRCUITO

L_{ass} = 0.251 H.

L_{bss} = 0.259 H.

L_o = 0.06759 H.

r_s = 10.5 Ω.

I_f = 2.4 A.

velocidad del rotor = 1980 r.p.m.

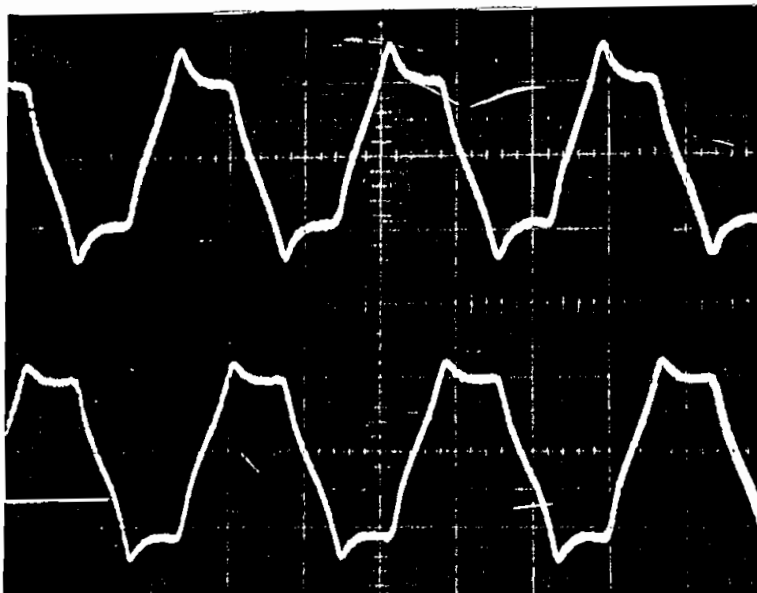
número de polos = 2

frecuencia de salida = 66 Hz.

f_{pa} = 0.1

f_{pb} = 0.0973

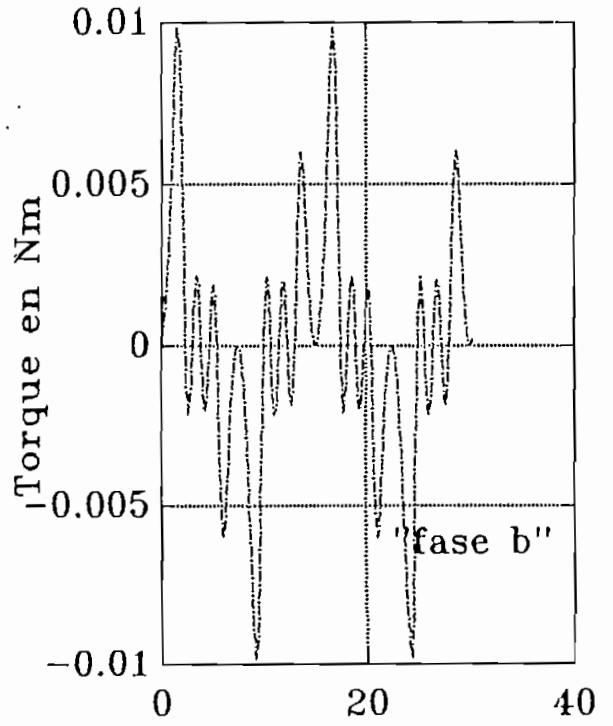
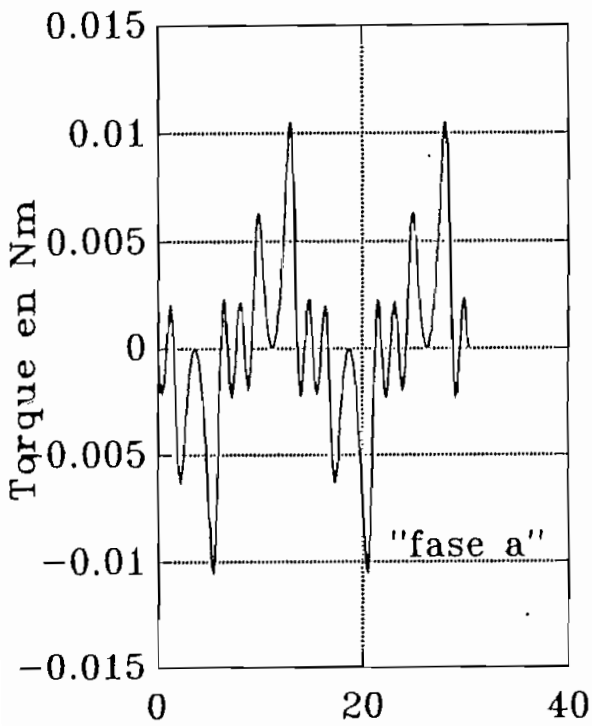
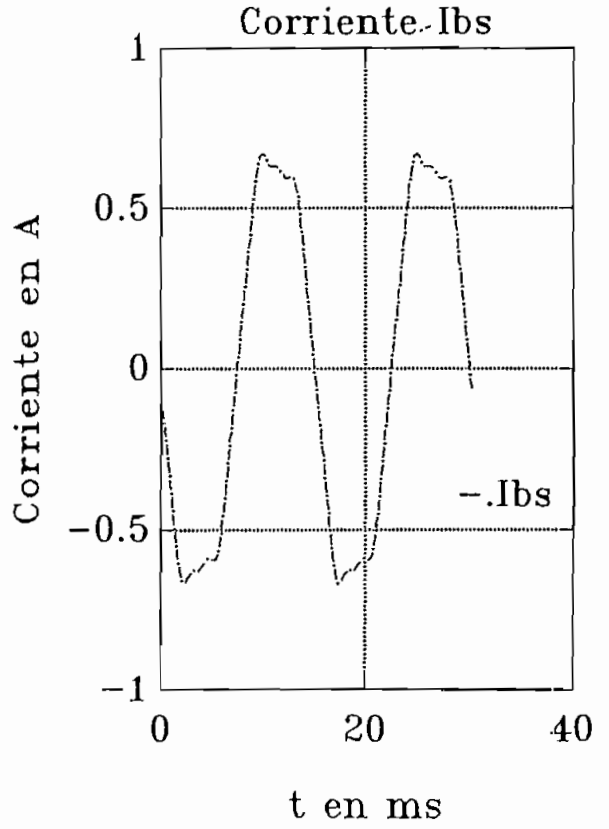
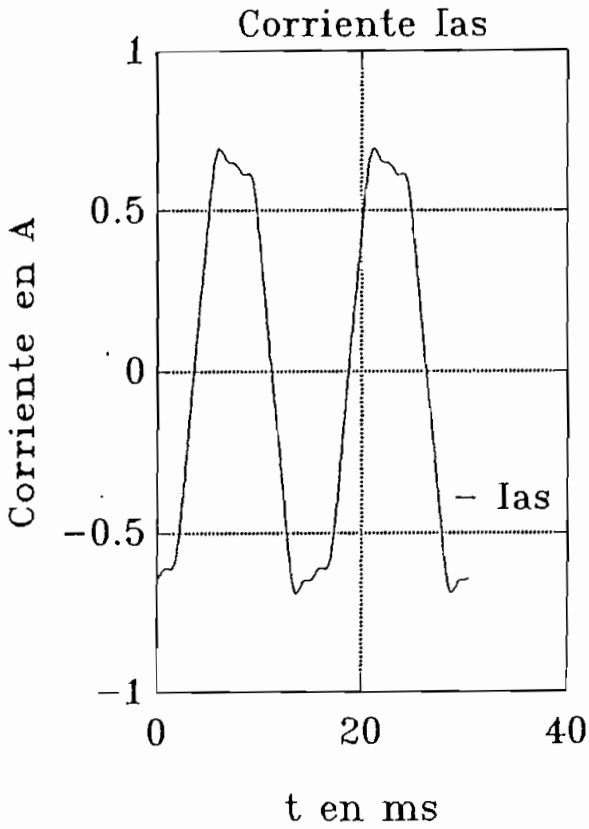
CORRIENTE EN CORTOCIRCUITO



RJE X 5 ms/div
RJE Y 0.5 A/cm

I_f = 2.4 A
1980 rpm

"CORTOCIRCUITO"



t en ms "TORQUE ELECTROMAG." t en ms

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA RESISTIVA

L_{ass} = 0.251 H.

L_{bss} = 0.259 H.

L_o = 0.06795 H.

r_s = 10.5 Ω.

I_f = 6 A.

velocidad del rotor = 740 r.p.m.

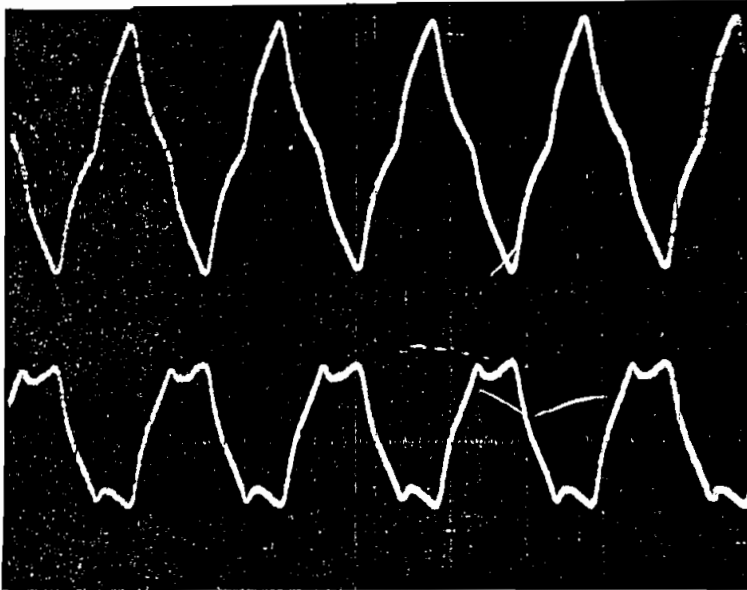
número de polos = 2

frecuencia de salida = 24.67 Hz.

R_{carga} = 60 Ω.

f_{pa} = 0.876

f_{pb} = 0.869



CORRIENTE CARGA RESISTIVA

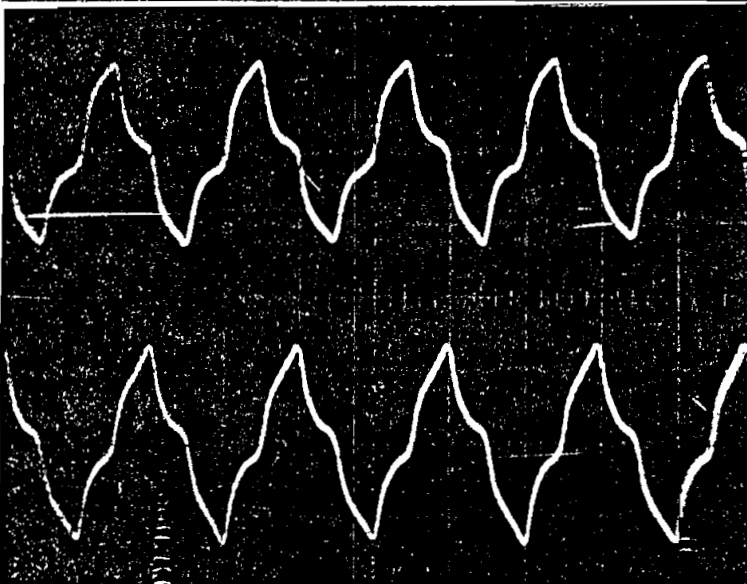
EJE X 20 ms/div

EJE Y 1 A/cm

CARGA 4

I_f = 6 A

740 rpm



VOLTAJE CARGA RESISTIVA

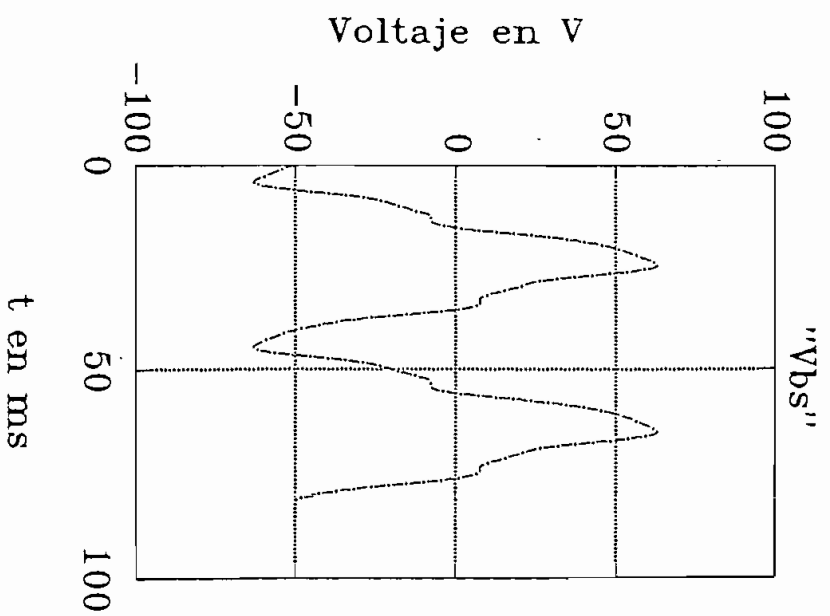
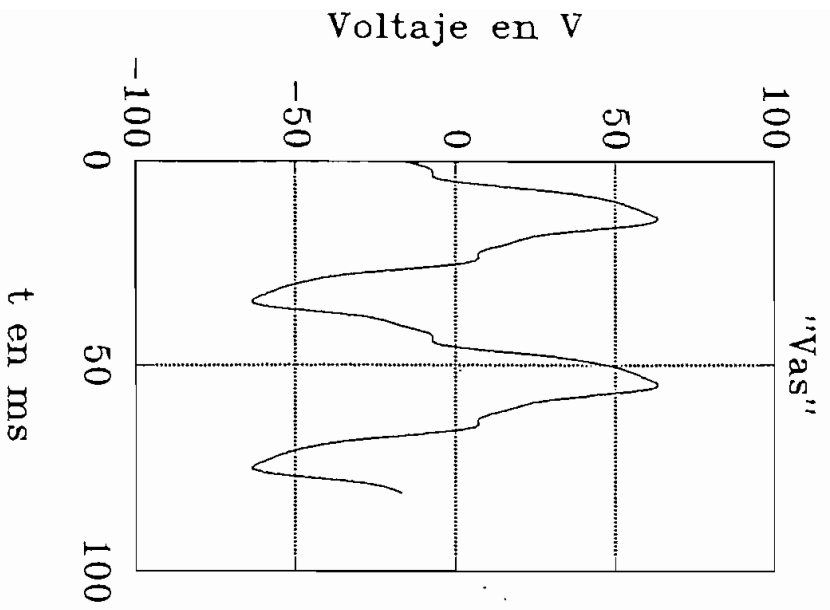
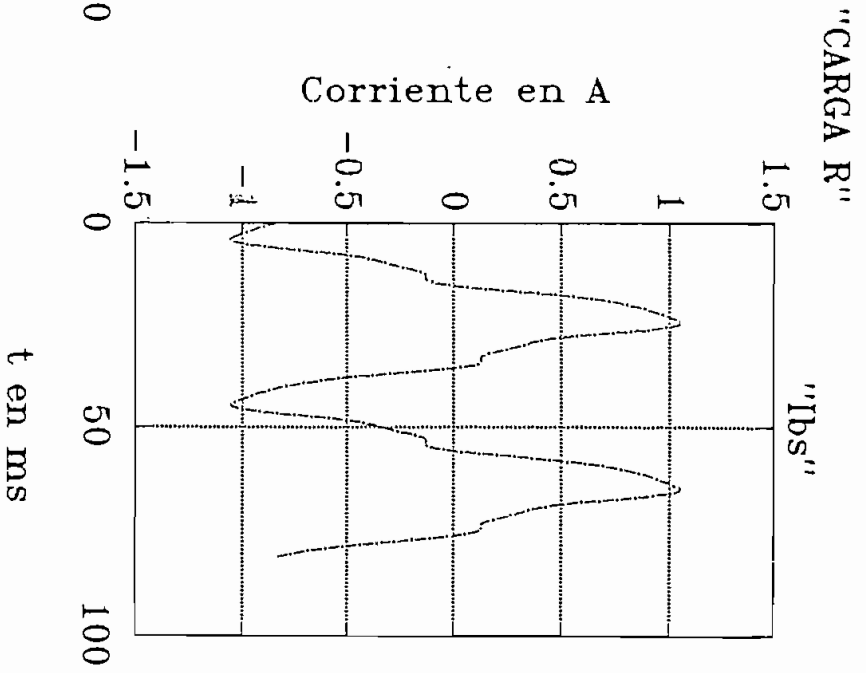
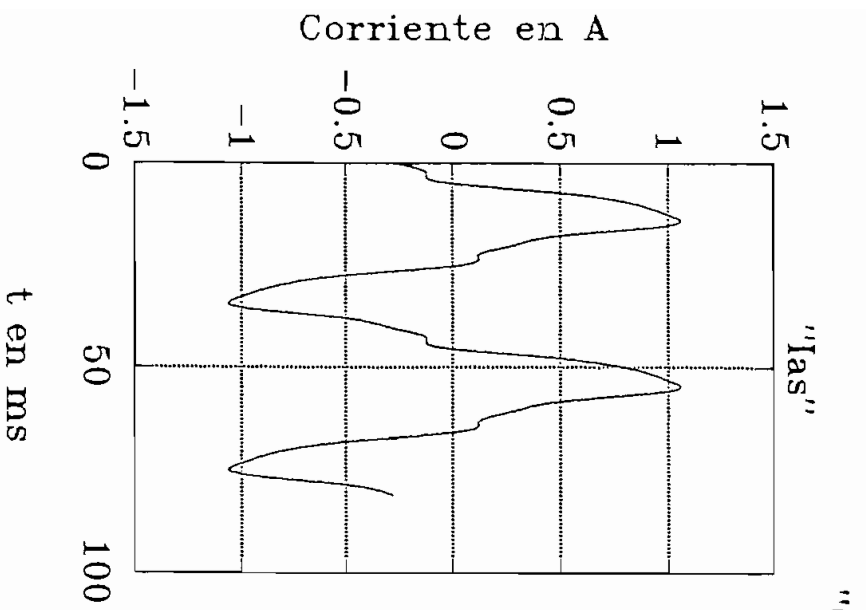
EJE X 20 ms/div

EJE Y 50 V/cm

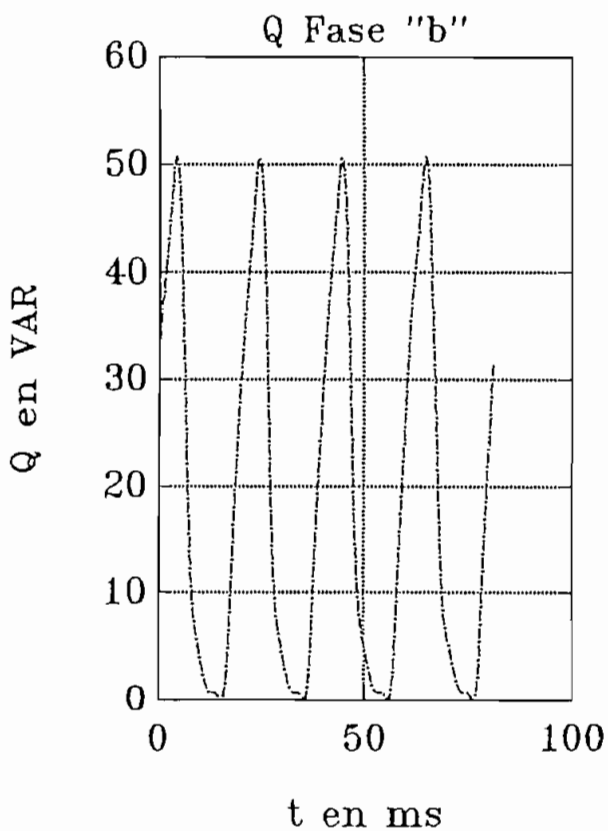
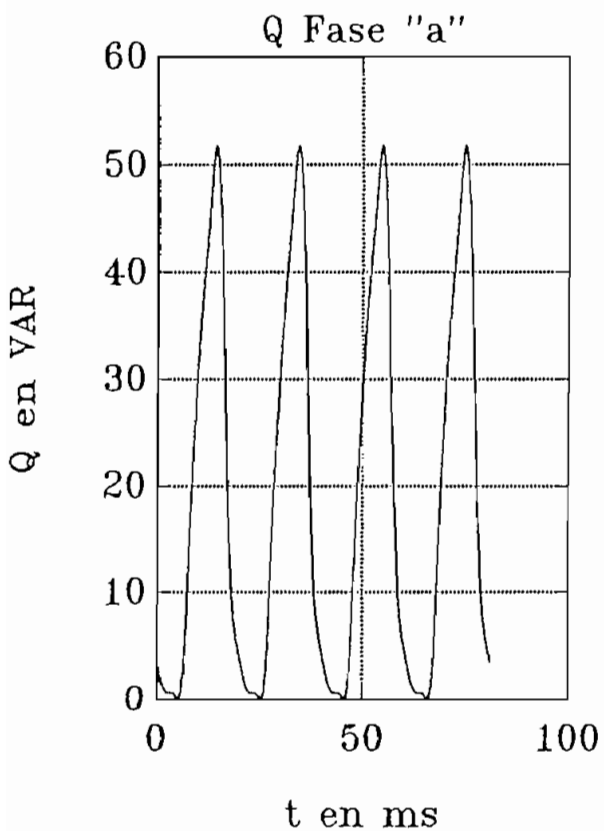
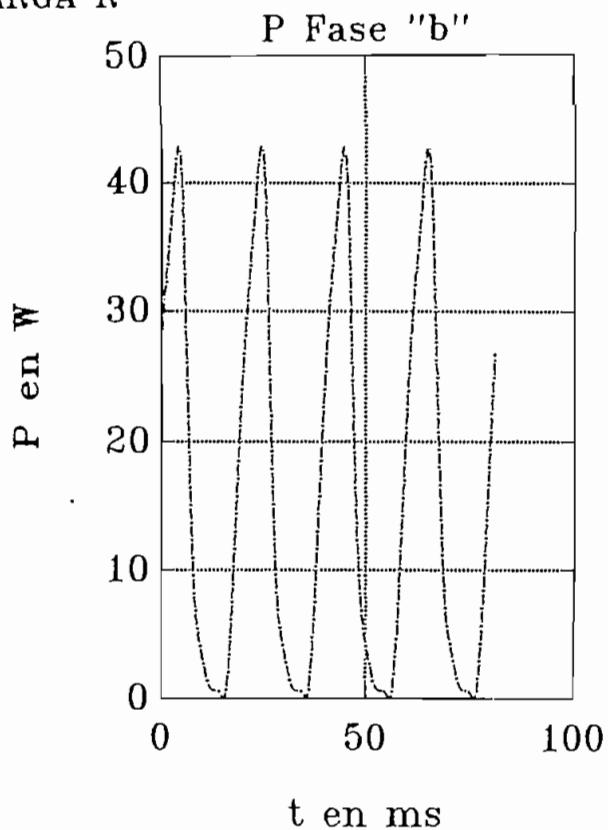
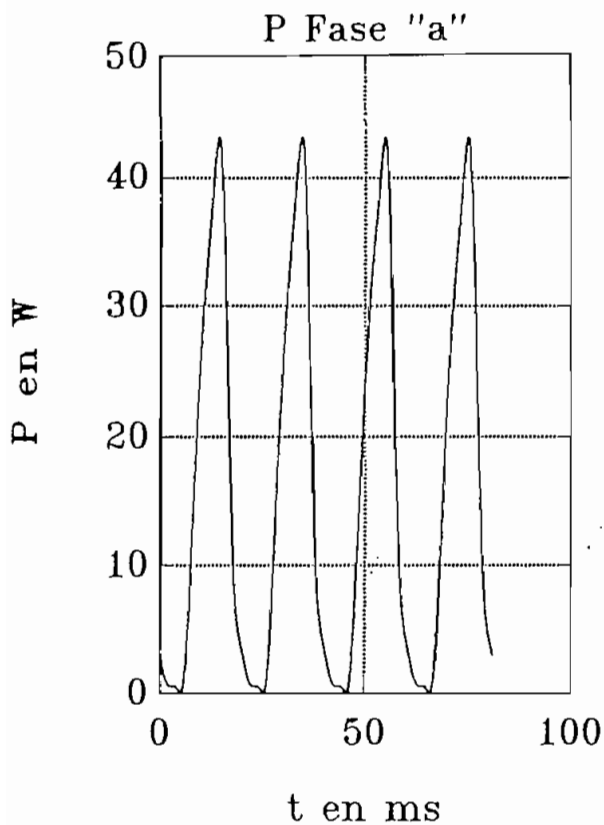
CARGA 4

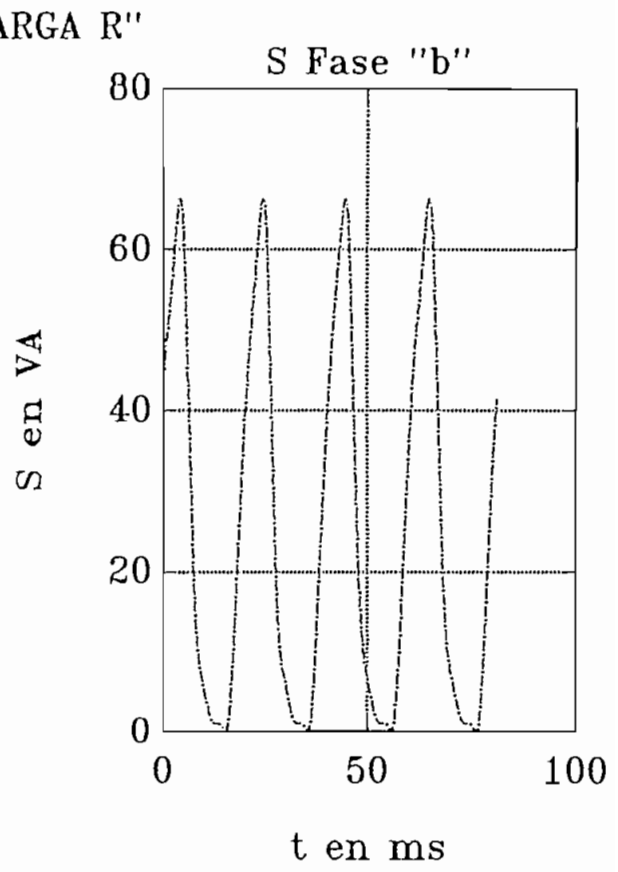
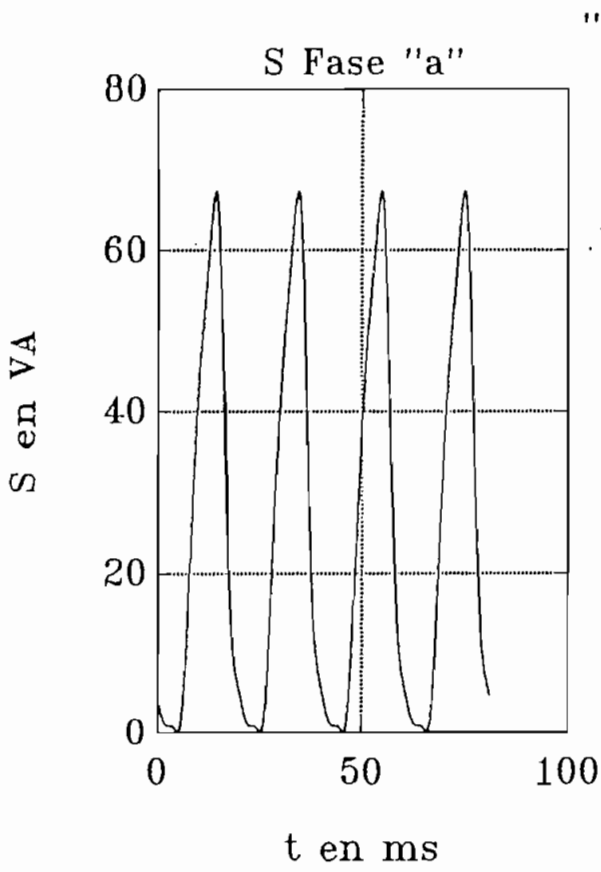
I_f = 6 A

740 rpm

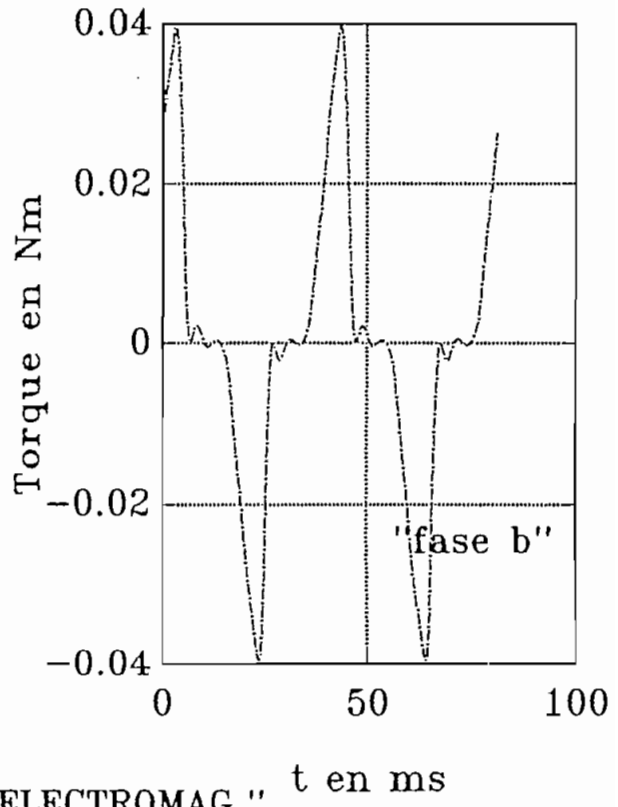
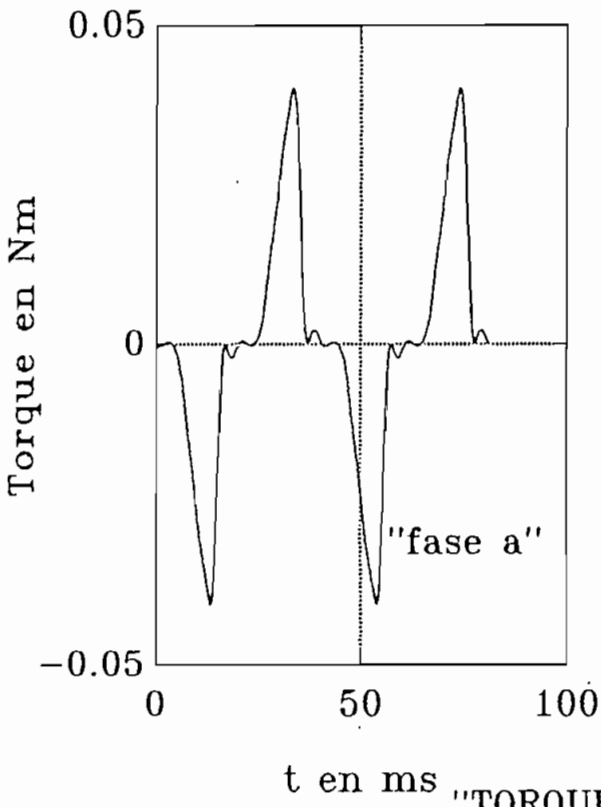


"CARGA R"





"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA INDUCTIVA

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \Omega.$

$I_f = 2.4 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1860 r.p.m.

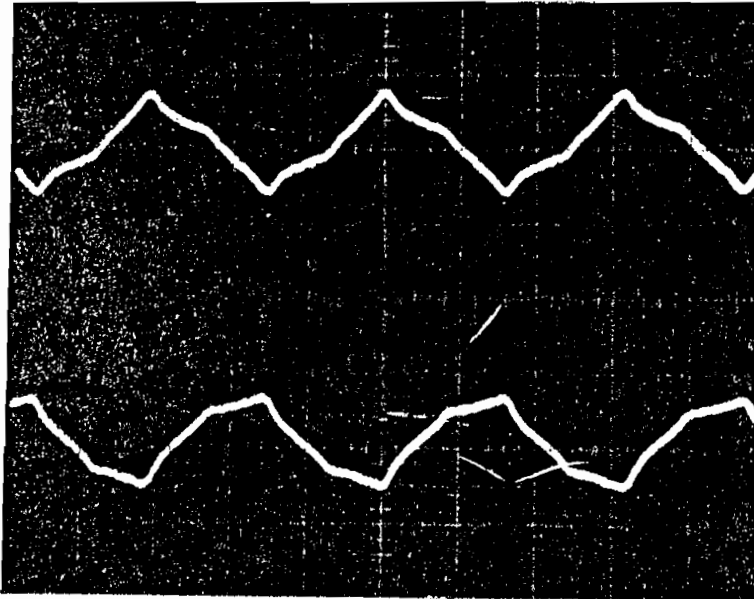
número de polos = 2

frecuencia de salida = 62 Hz.

$L_{carga} = 0.5 \text{ H.}$

$f_{pa} = 0.0359$

$f_{pb} = 0.0355$



CORRIENTE CARGA INDUCTIVA

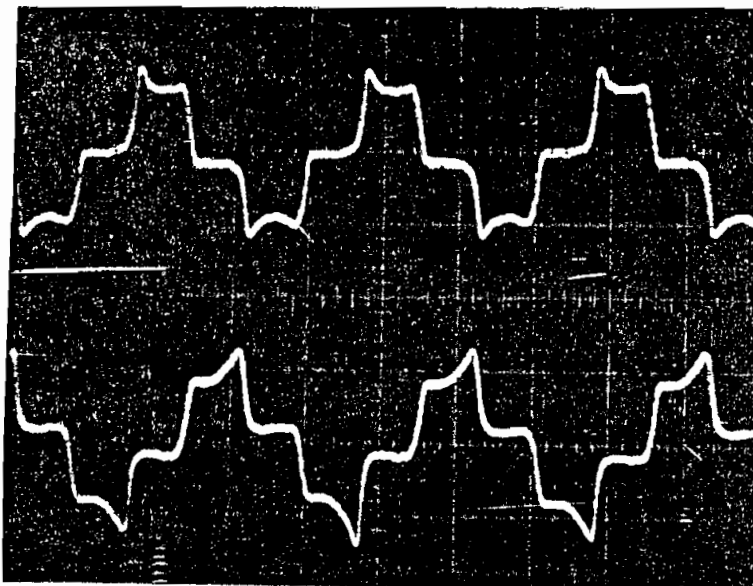
EJE X 5 ms/div

EJE Y 1 A/cm

CARGA 2

$I_f = 2.4 \text{ A}$

1860 rpm



VOLTAJE CARGA INDUCTIVA

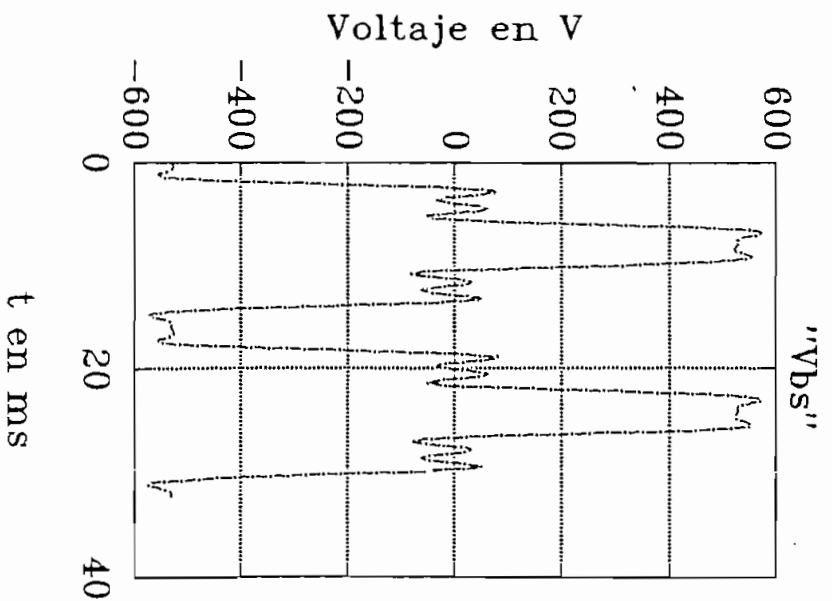
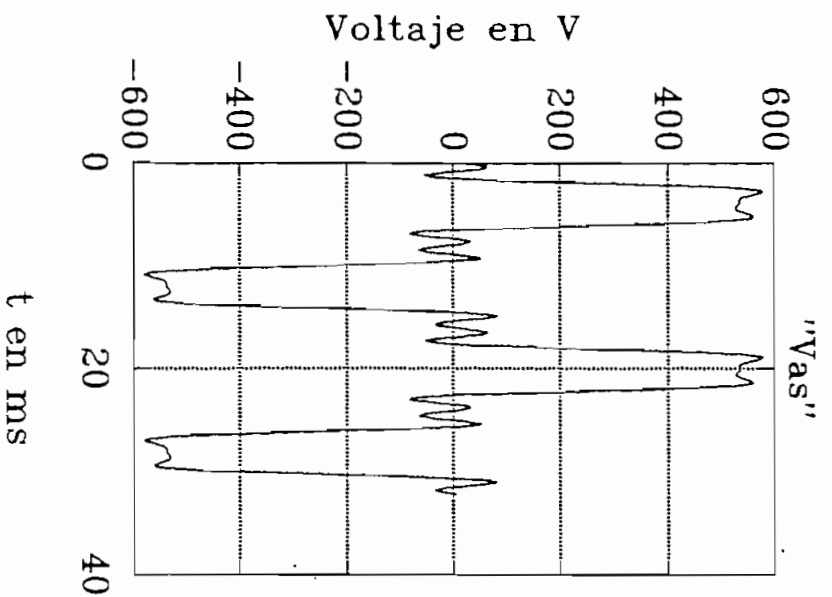
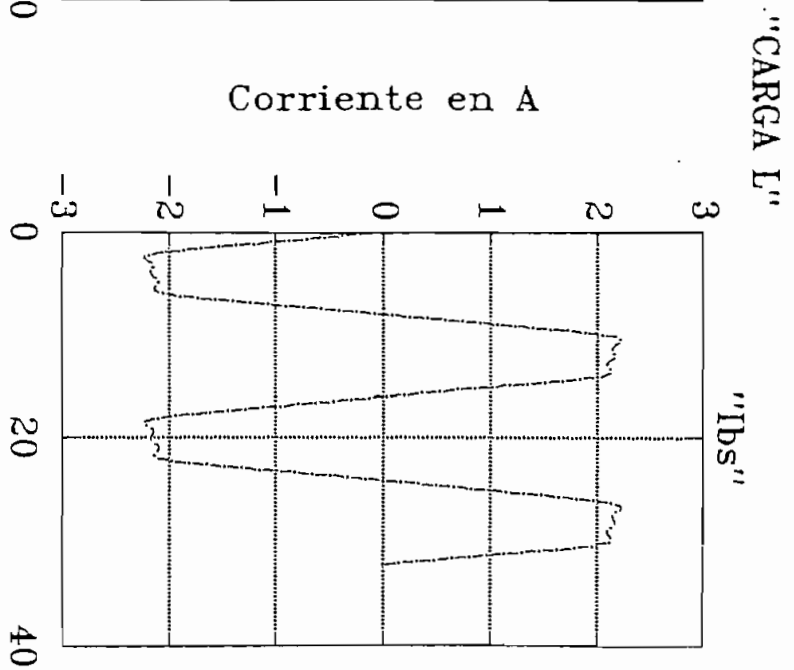
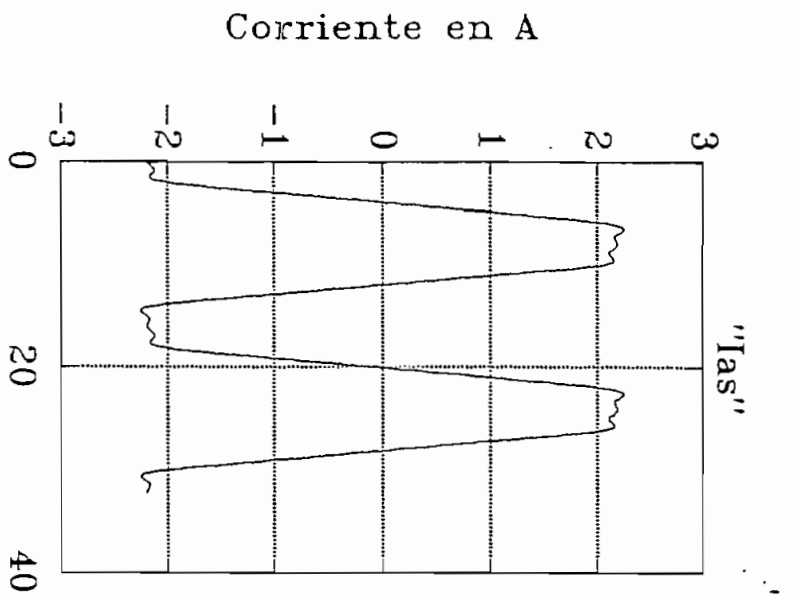
EJE X 5 ms/div

EJE Y 50 V/cm

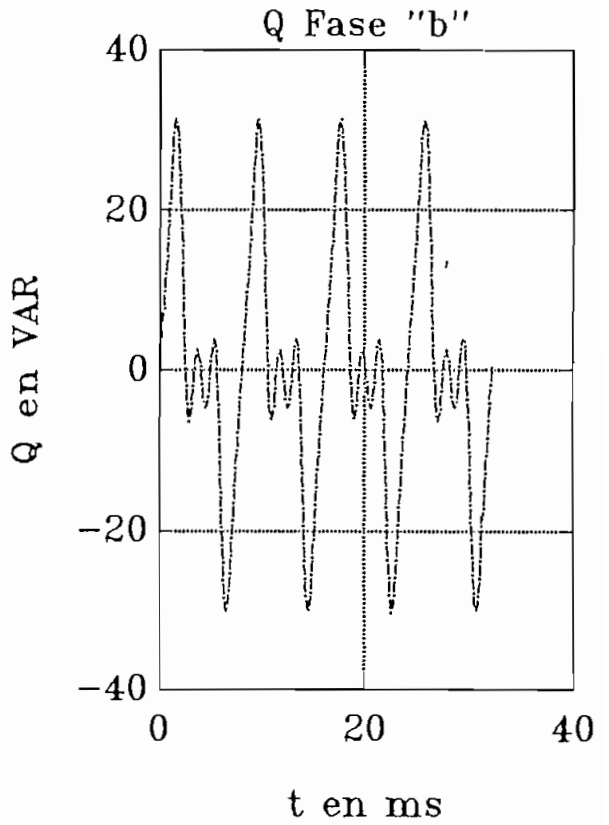
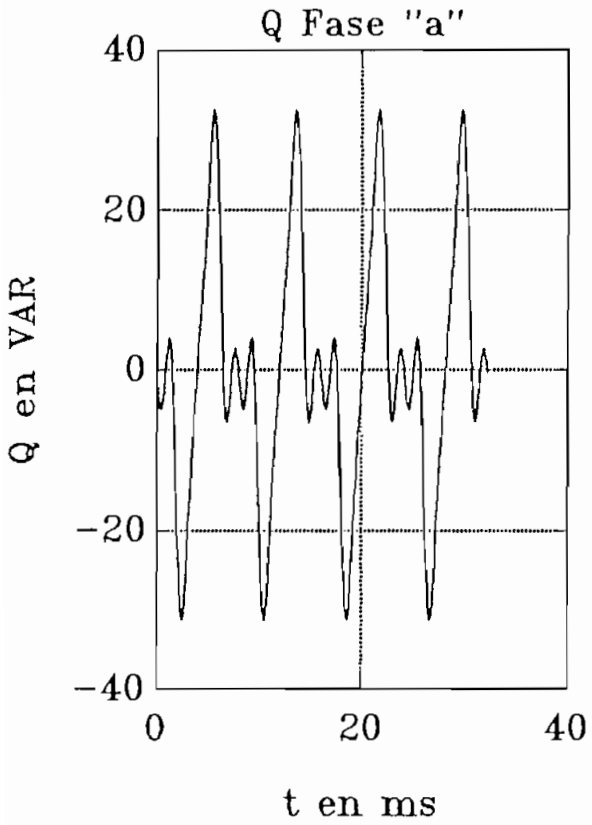
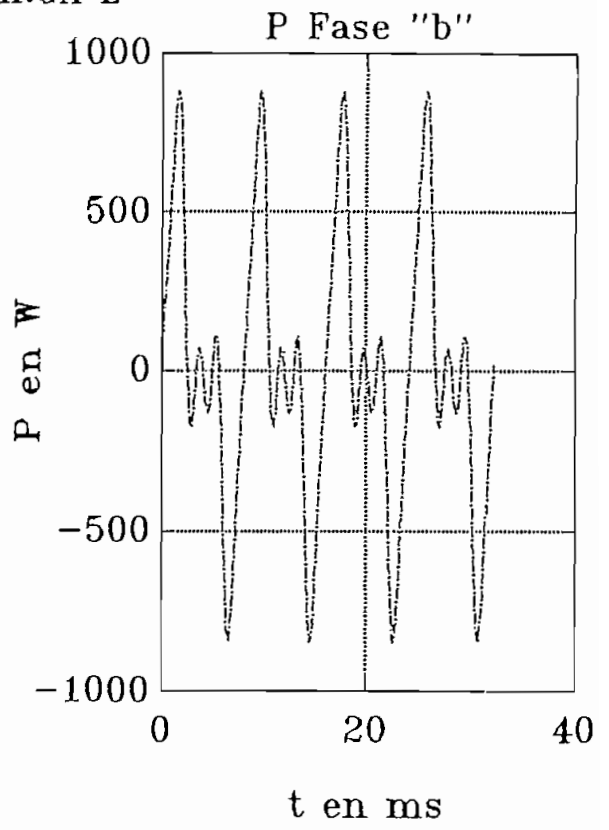
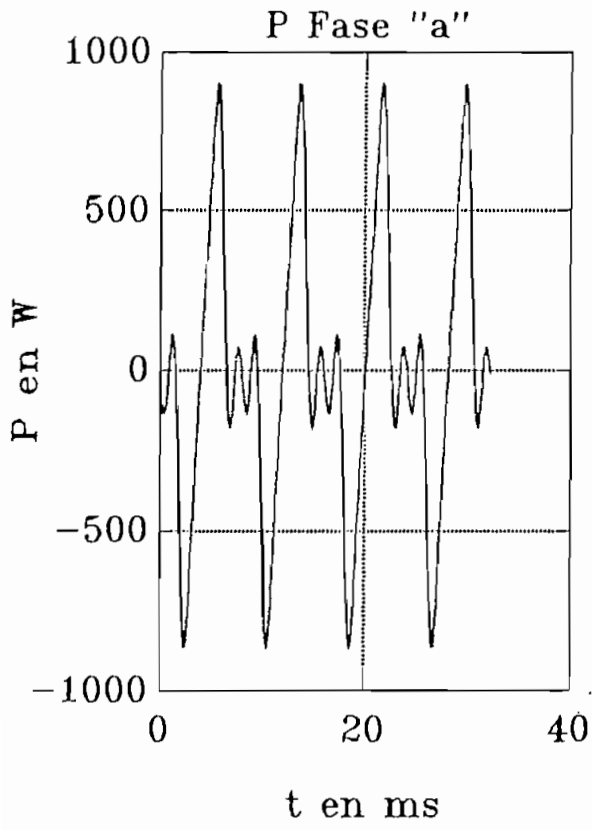
CARGA 2

$I_f = 2.4 \text{ A}$

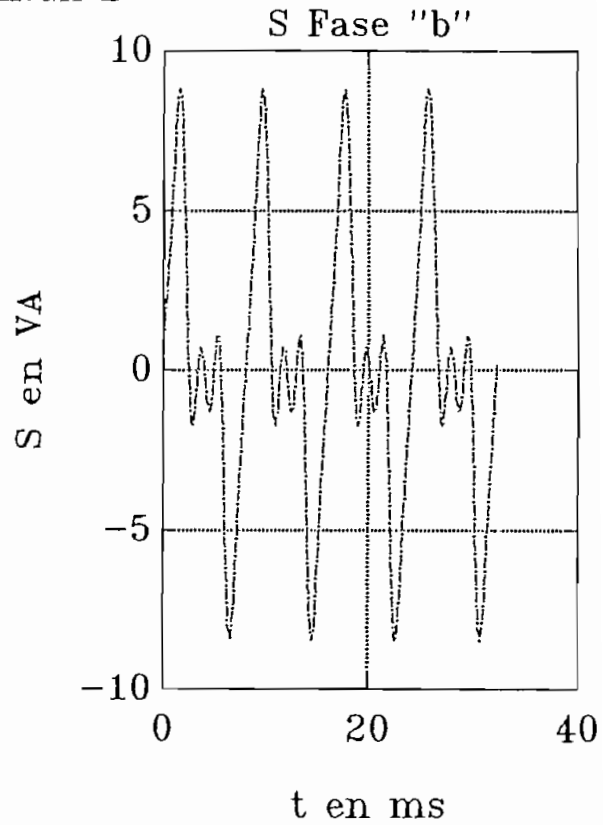
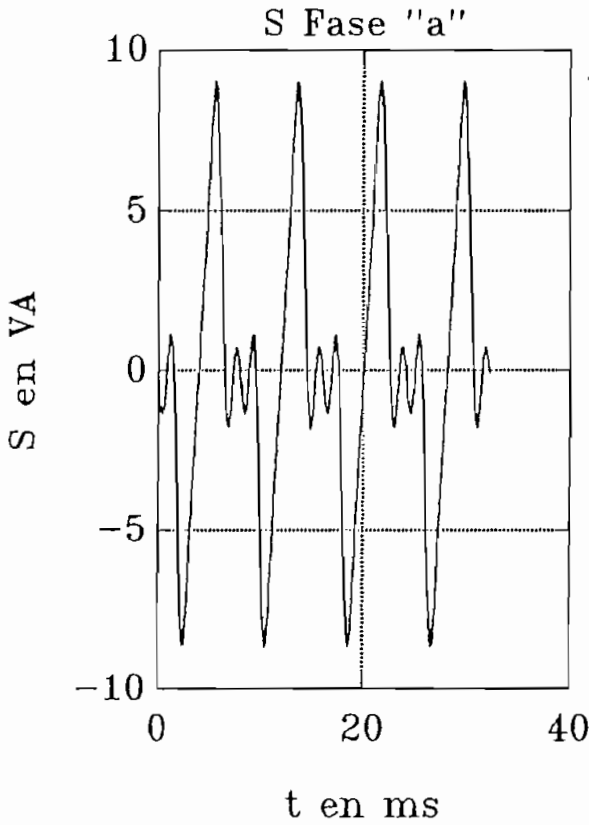
1860 rpm



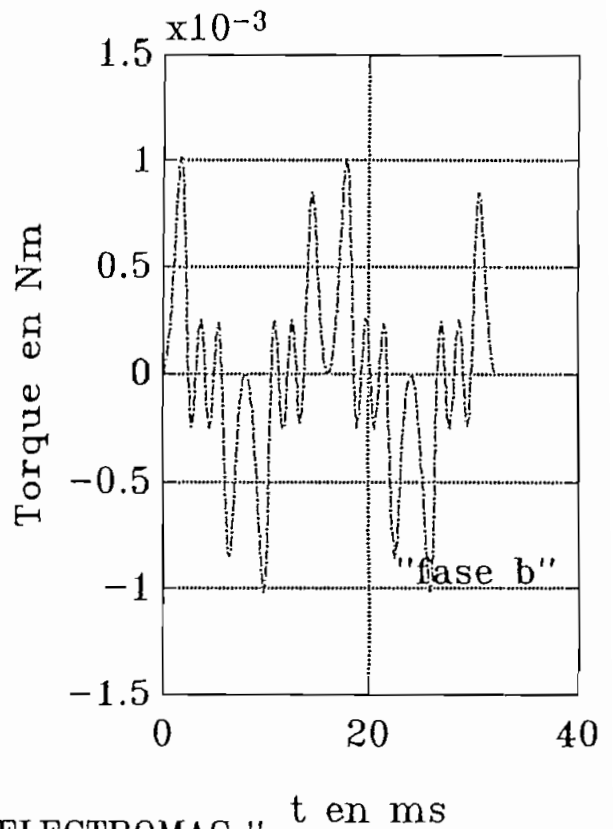
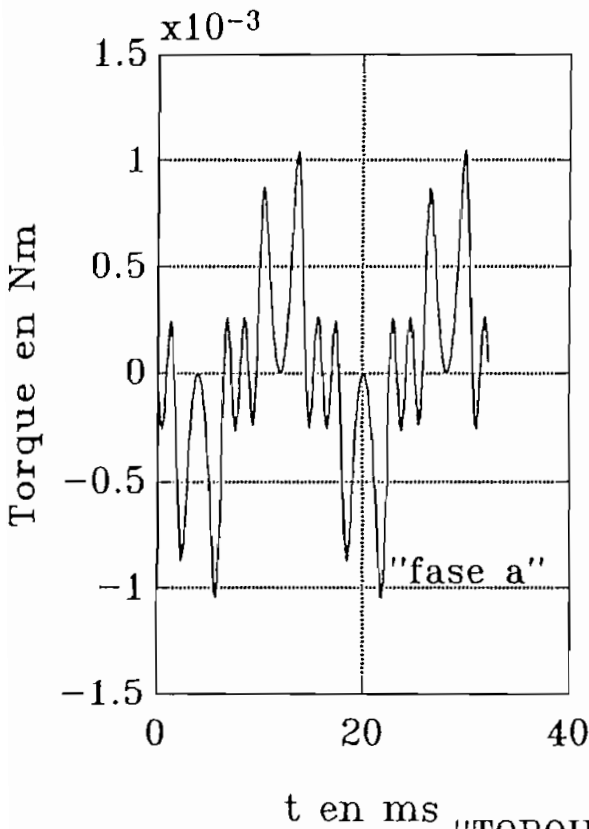
"CARGA L"



"CARGA L"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA INDUCTIVA

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \Omega.$

$I_f = 4 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1800 r.p.m.

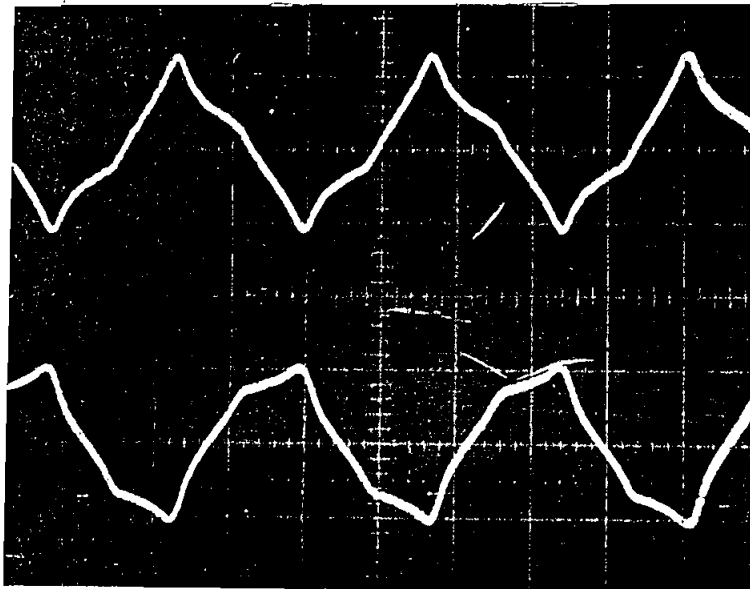
número de polos = 2

frecuencia de salida = 60 Hz.

$L_{carga} = 0.5 \text{ H.}$

$f_{pa} = 0.0371$

$f_{pb} = 0.0367$



CORRIENTE CARGA INDUCTIVA

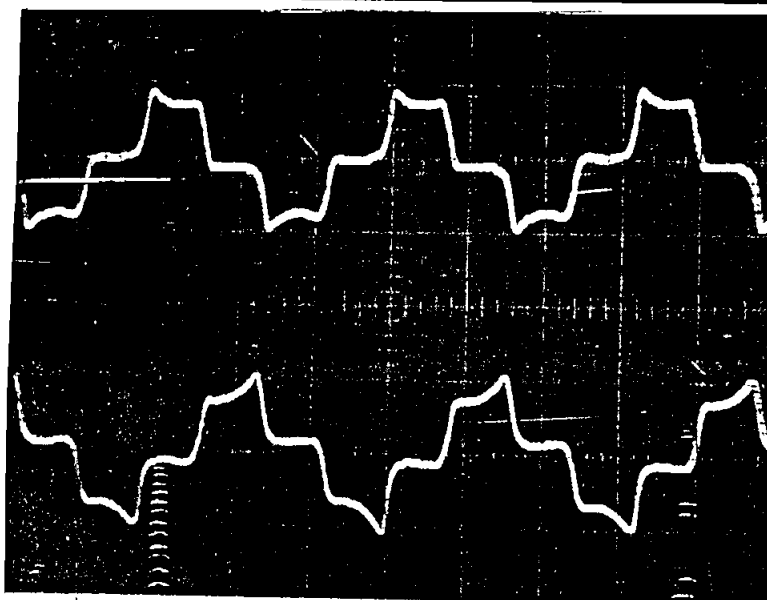
EJE X 5 ns/div

EJE Y 1 A/cm

CARGA 2

$I_f = 4 \text{ A}$

1800 rpm



VOLTAJE CARGA INDUCTIVA

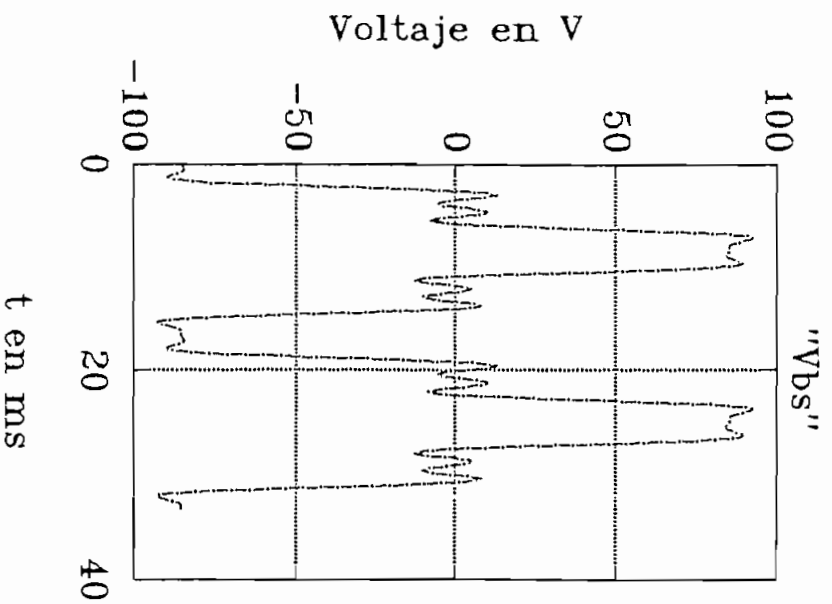
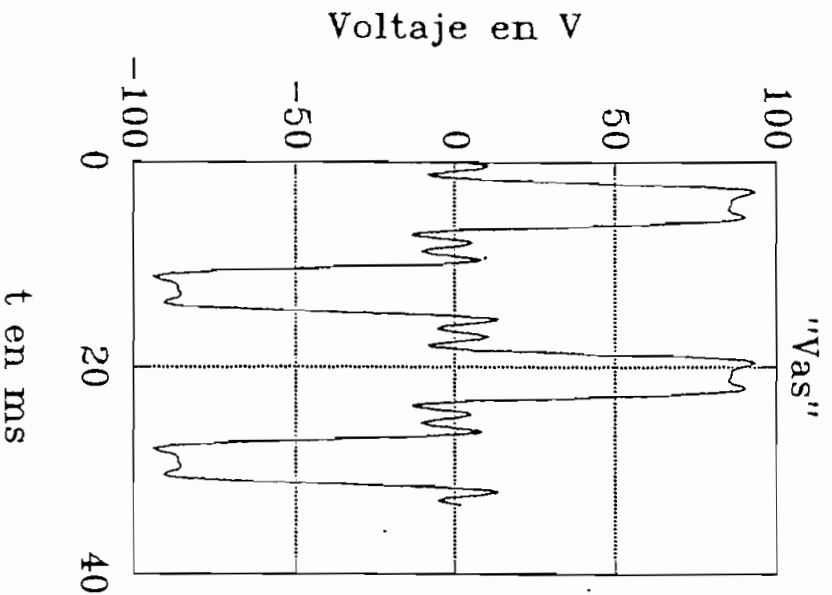
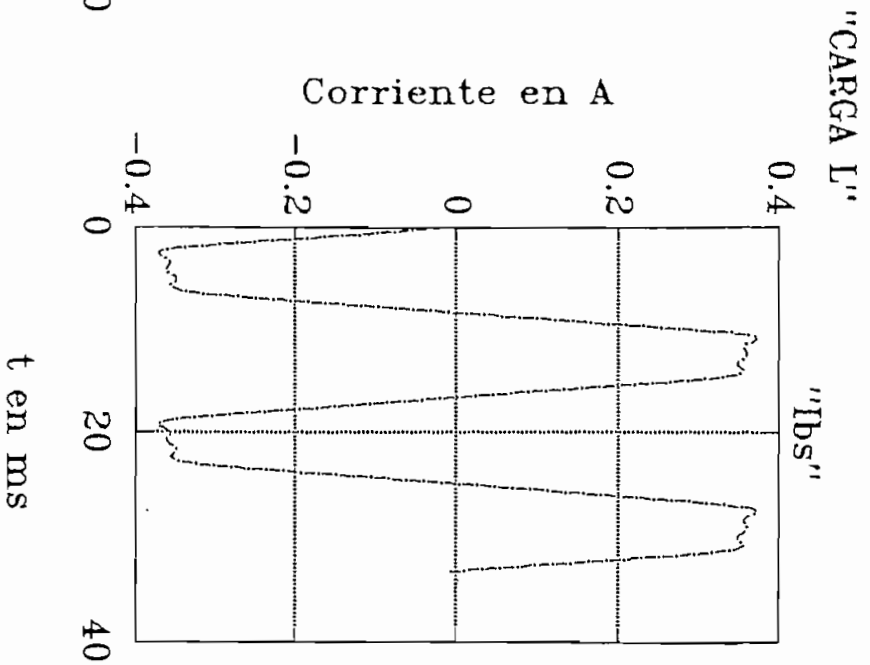
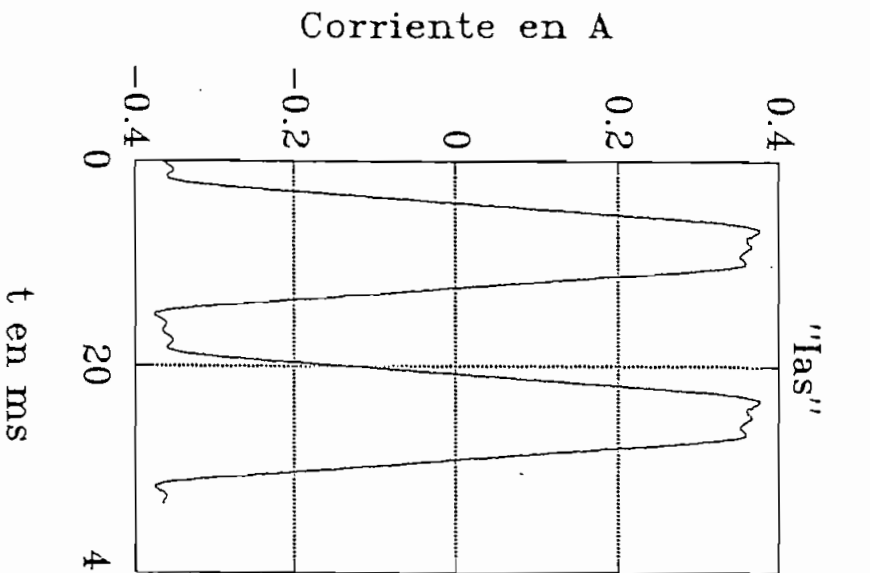
EJE X 5 ns/div

EJE Y 100 V/cm

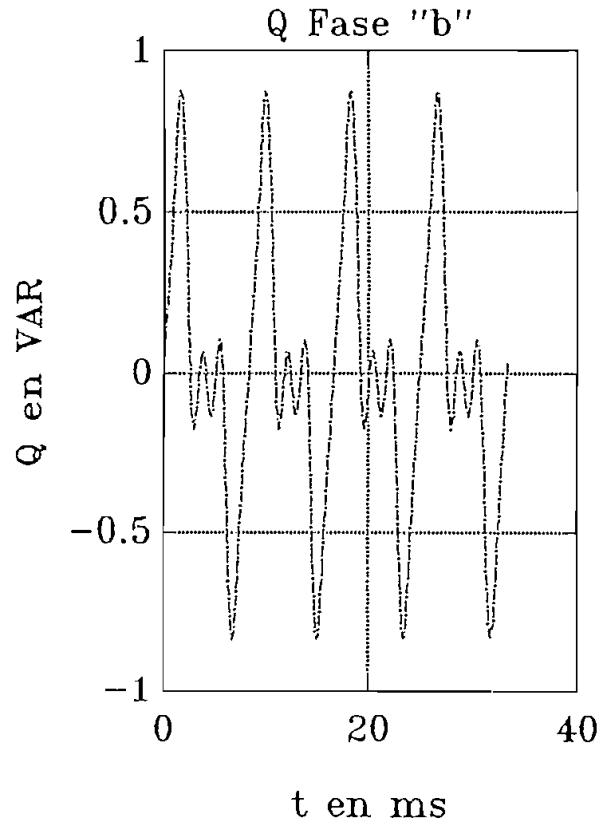
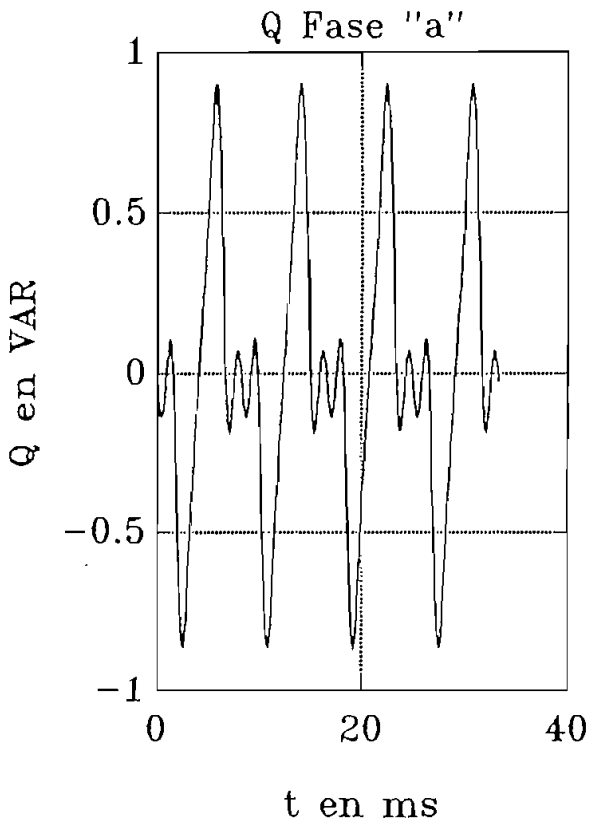
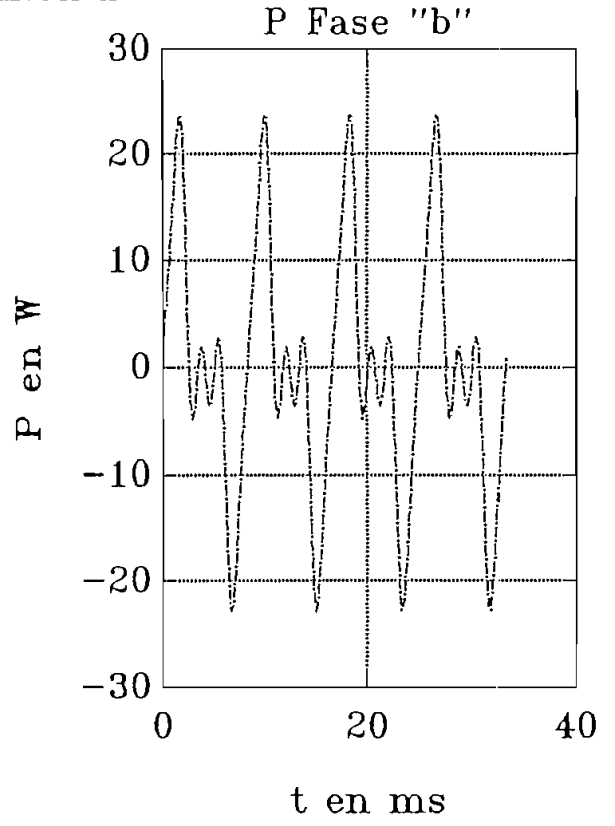
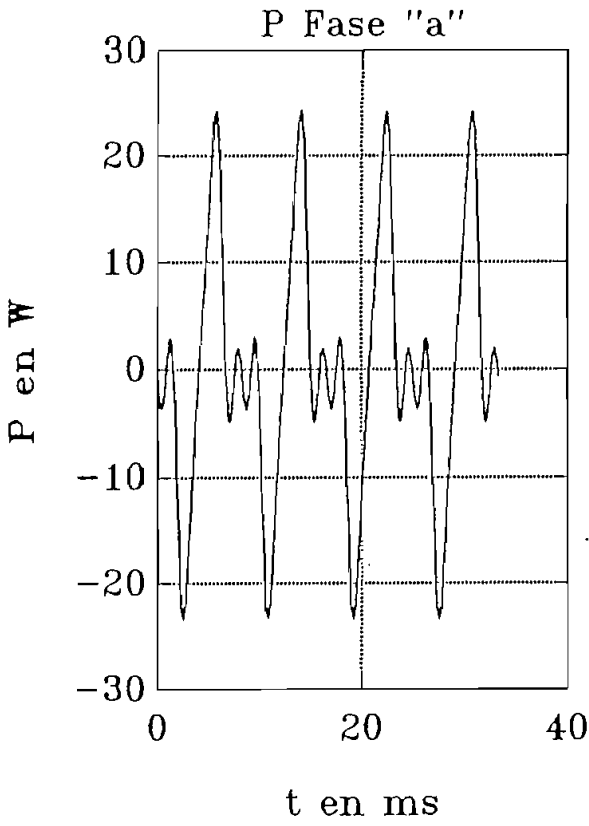
CARGA 2

$I_f = 4 \text{ A}$

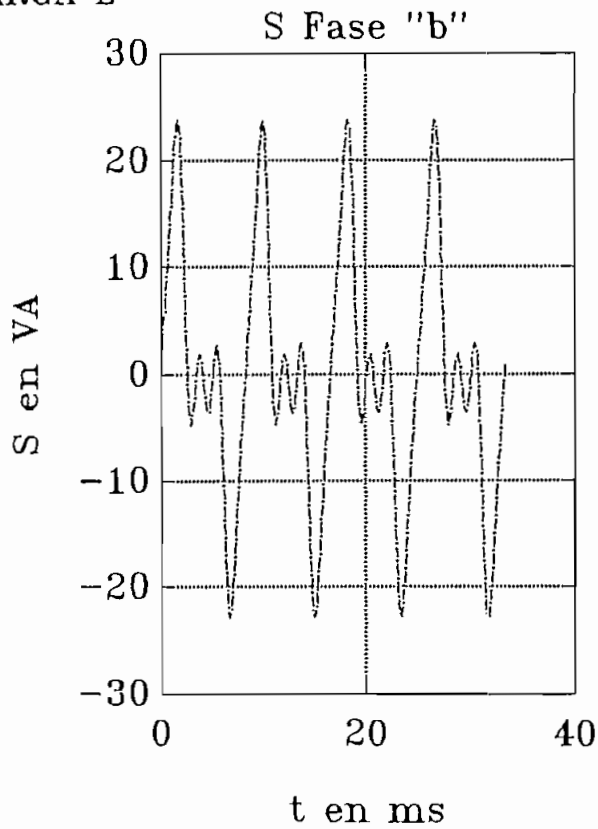
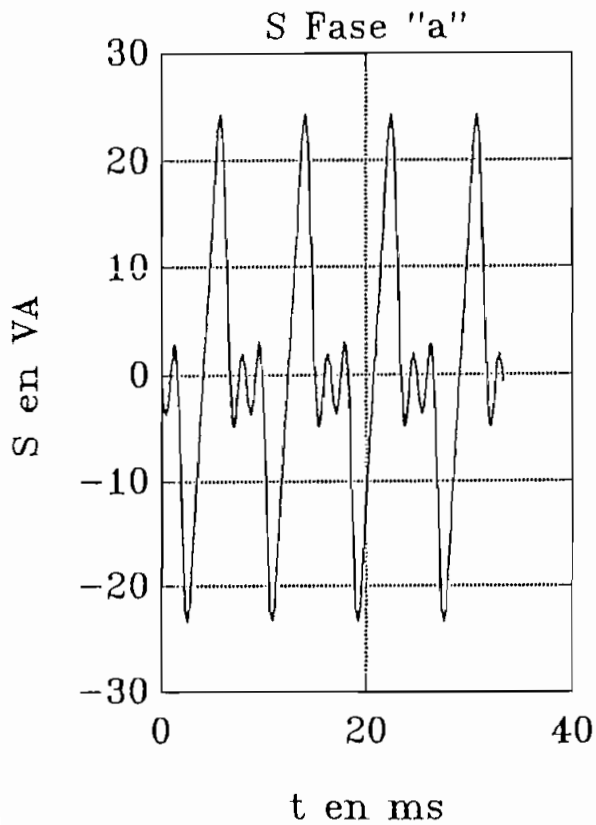
1800 rpm



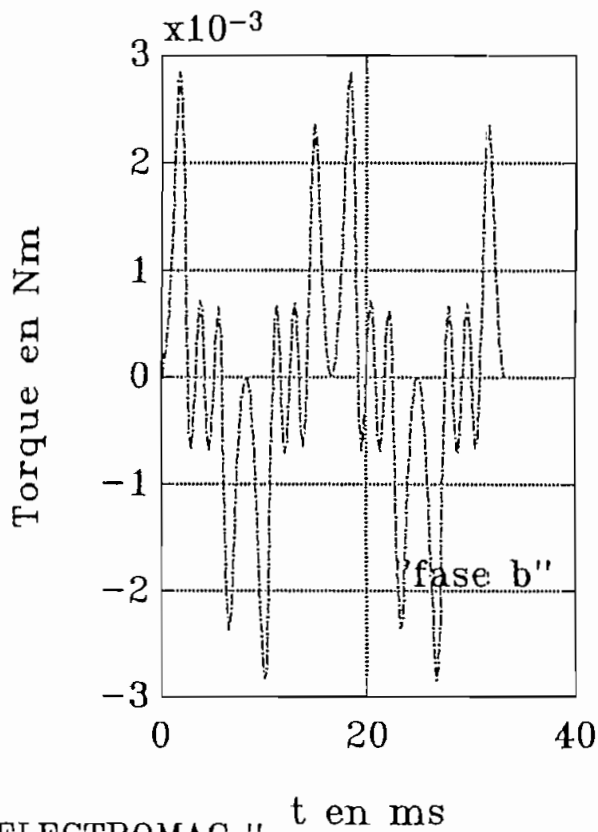
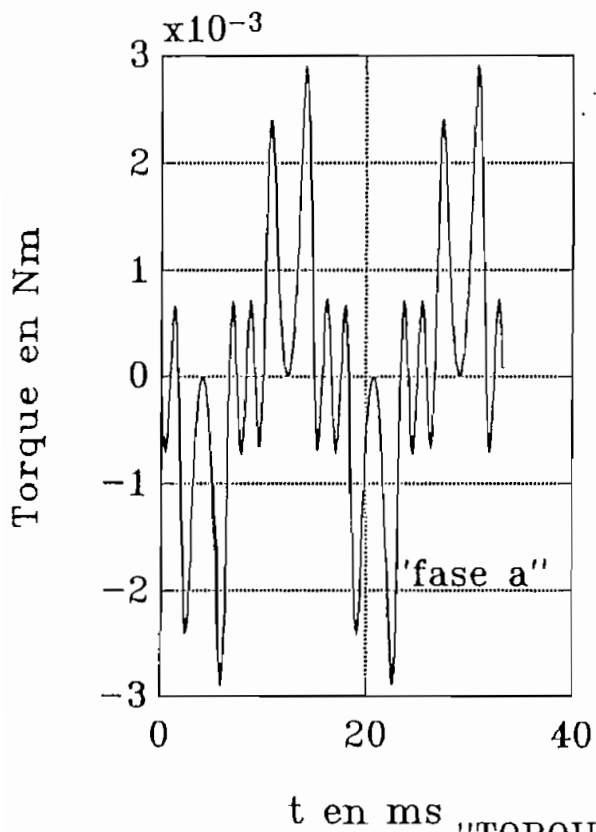
"CARGA L"



"CARGA L"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA INDUCTIVA

L_{ass} = 0.251 H.

L_{bss} = 0.259 H.

L_o = 0.06795 H.

r_s = 10.5 Ω.

I_f = 4 A.

velocidad del rotor = 1780 r.p.m.

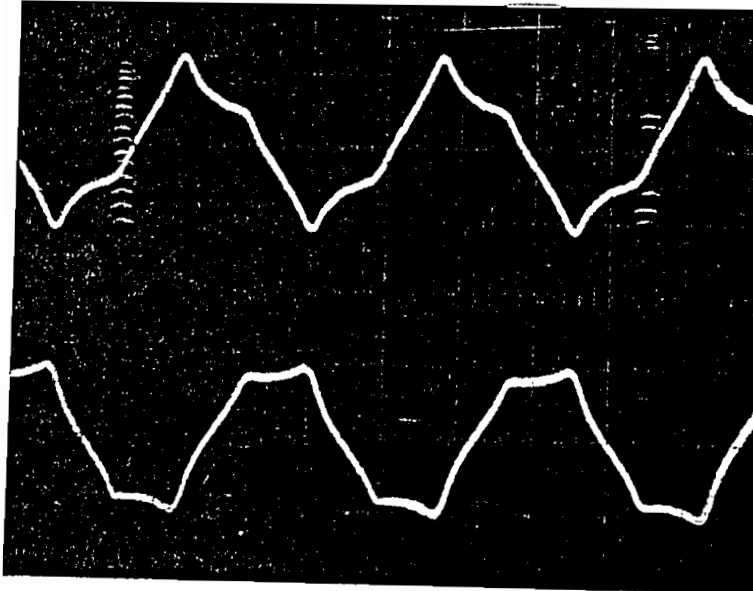
número de polos = 2

frecuencia de salida = 59.33 Hz.

L_{carga} = 0.25 H.

f_{pa} = 0.0561

f_{pb} = 0.0552



CORRIENTE CARGA INDUCTIVA

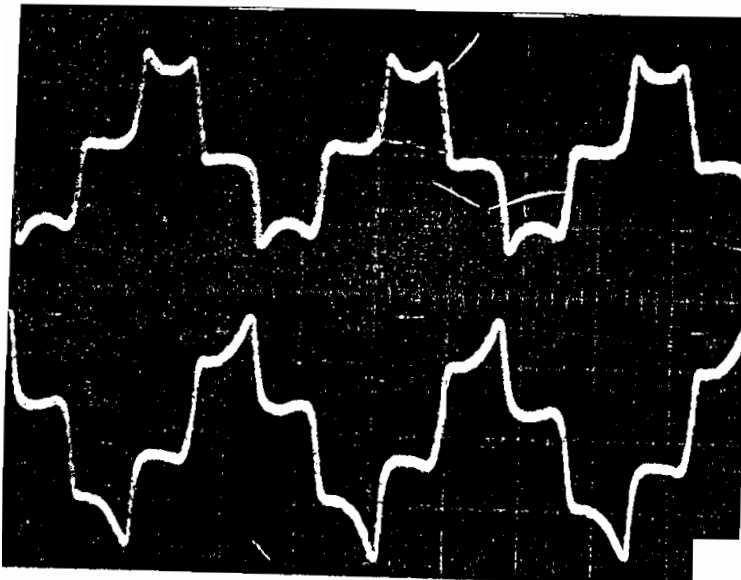
EJE X 5 ns/div

EJE Y 1 A/cm

CARGA 4

I_f = 4 A

1780 rpm



VOLTAJE CARGA INDUCTIVA

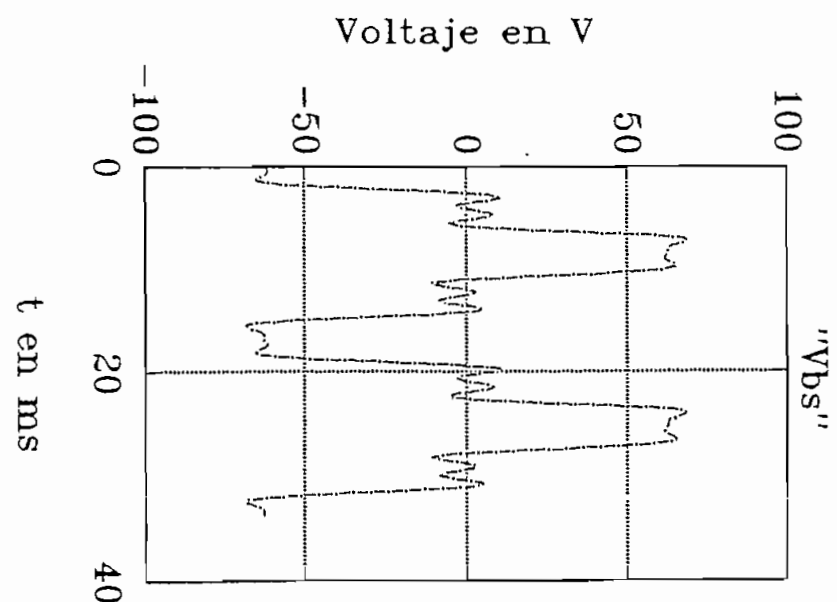
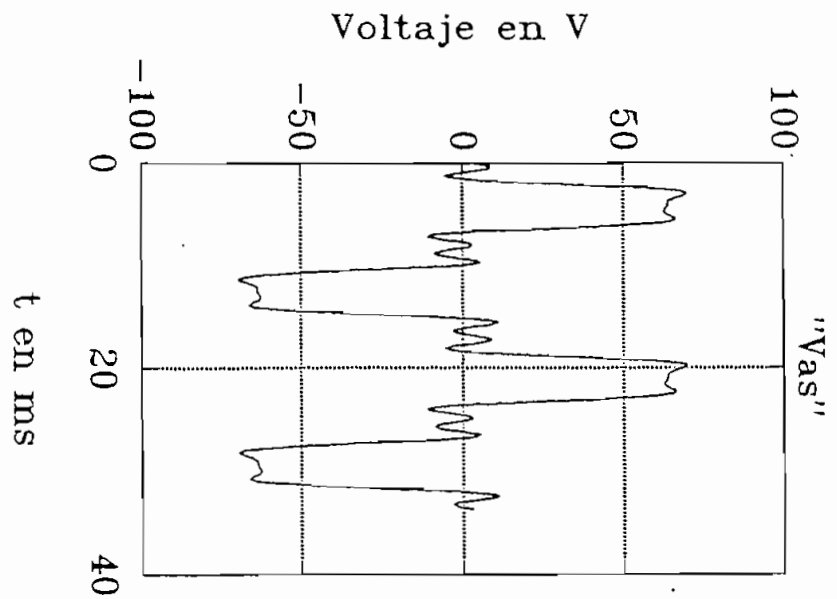
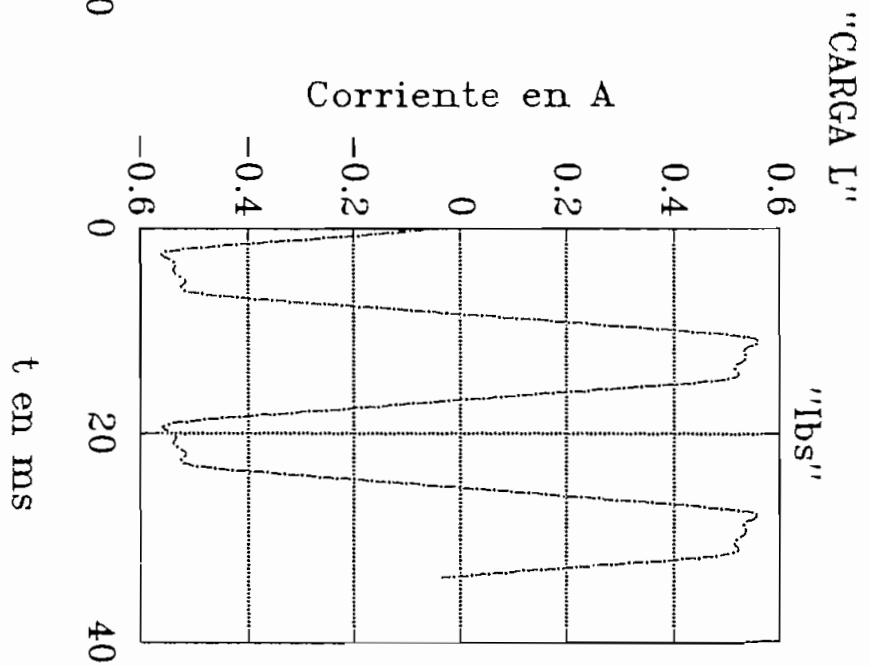
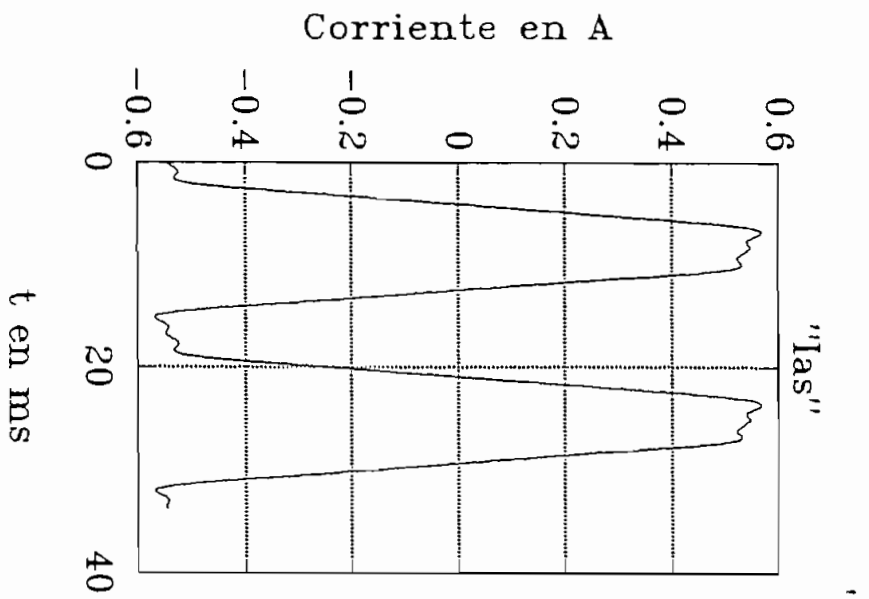
EJE X 5 ns/div

EJE Y 50 V/cm

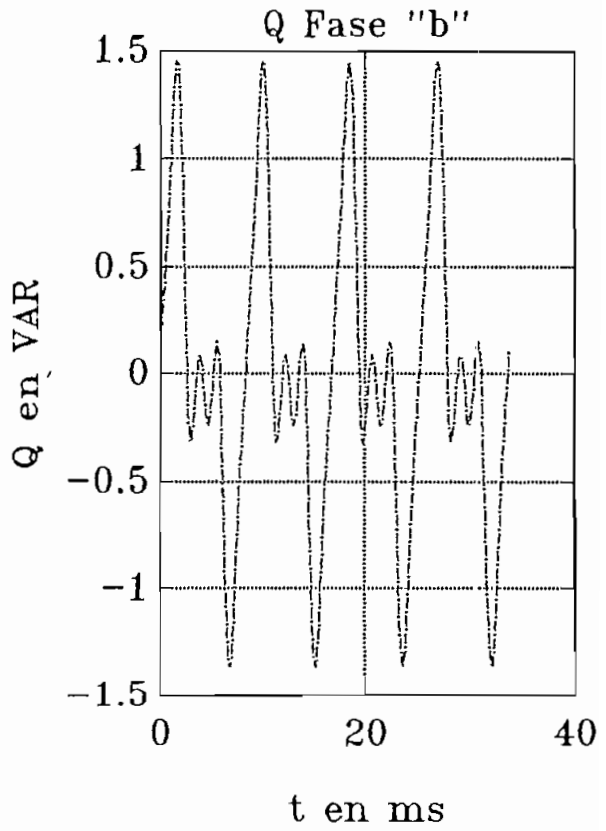
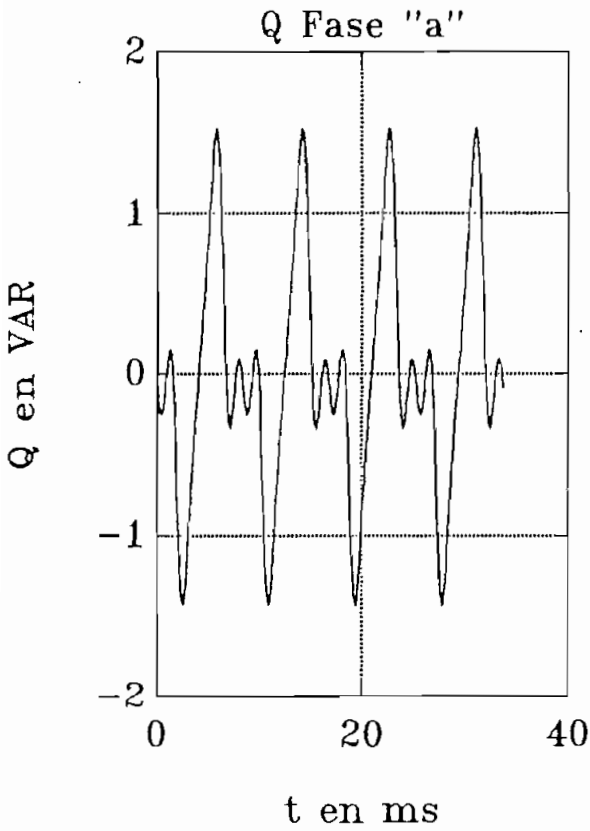
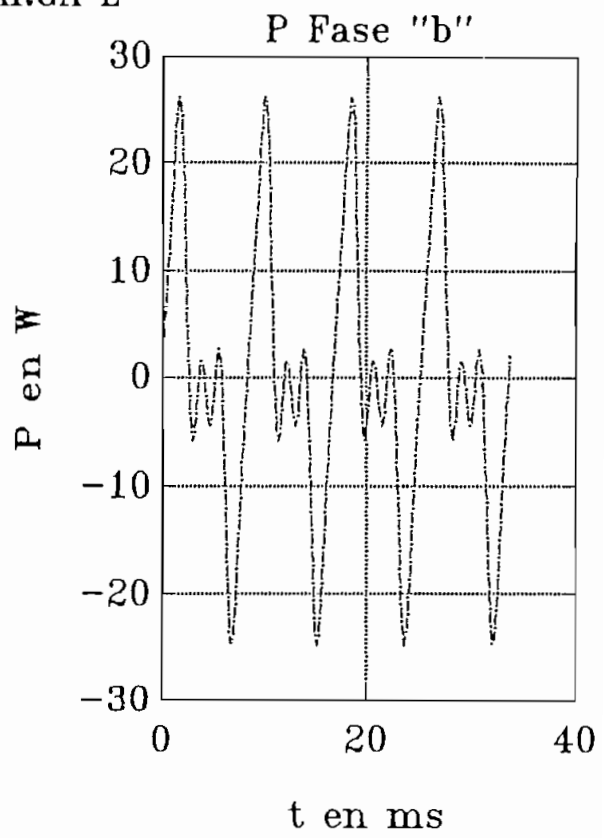
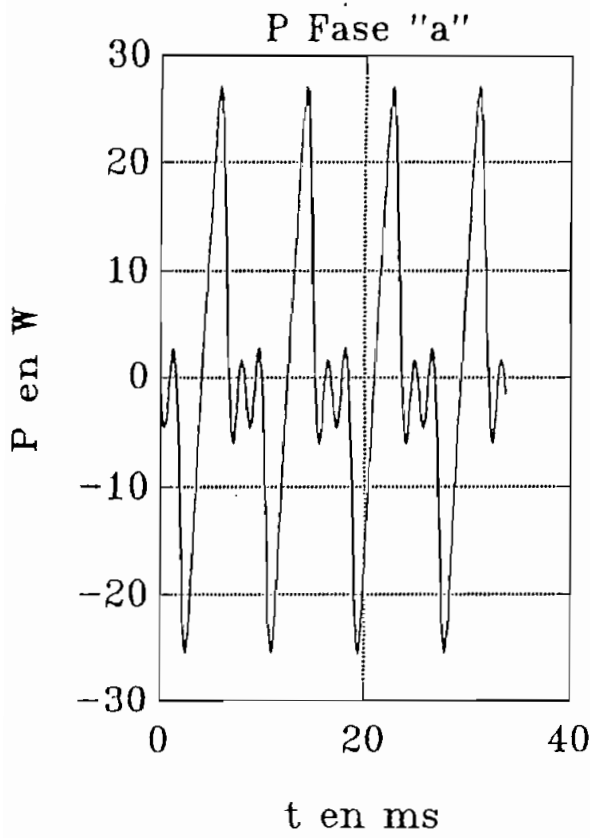
CARGA 4

I_f = 4 A

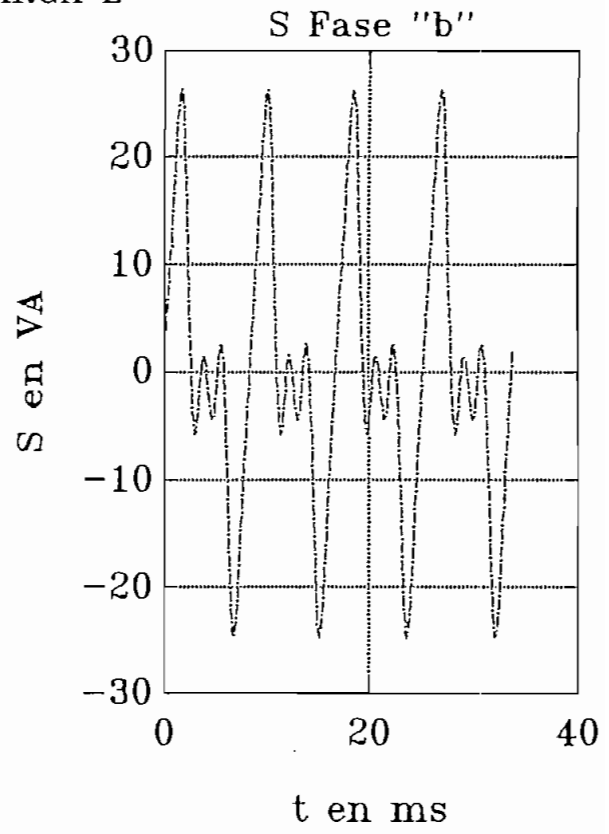
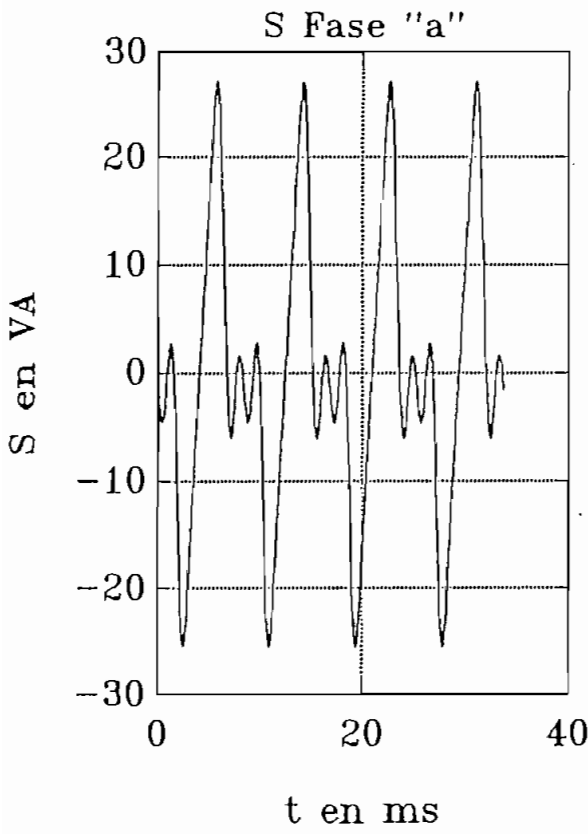
1780 rpm



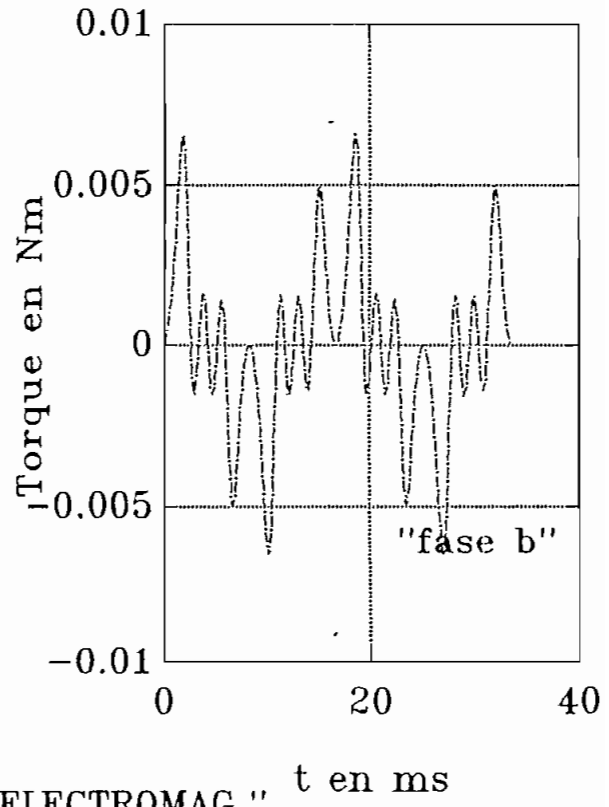
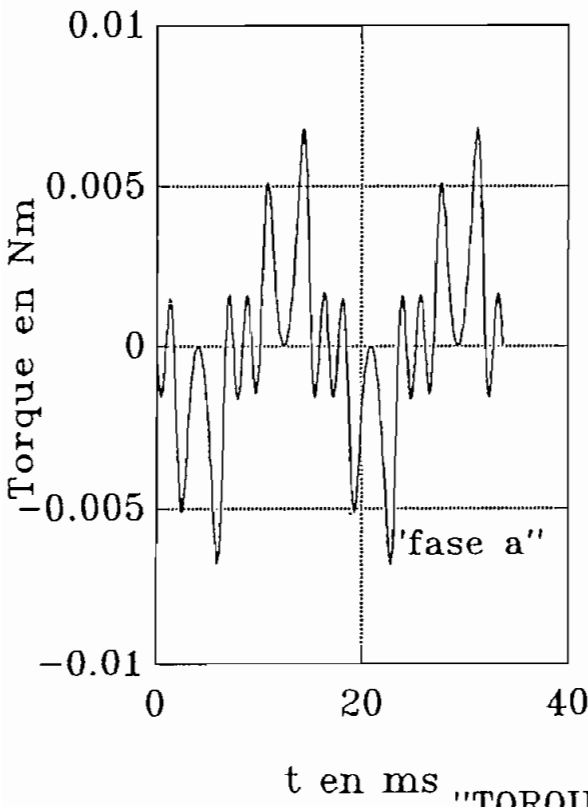
"CARGA L"



"CARGA L"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA INDUCTIVA

L_{ass} = 0.251 H.

L_{bss} = 0.259 H.

L_o = 0.06795 H.

r_s = 10.5 Ω.

I_f = 6 A.

velocidad del rotor = 1500 r.p.m.

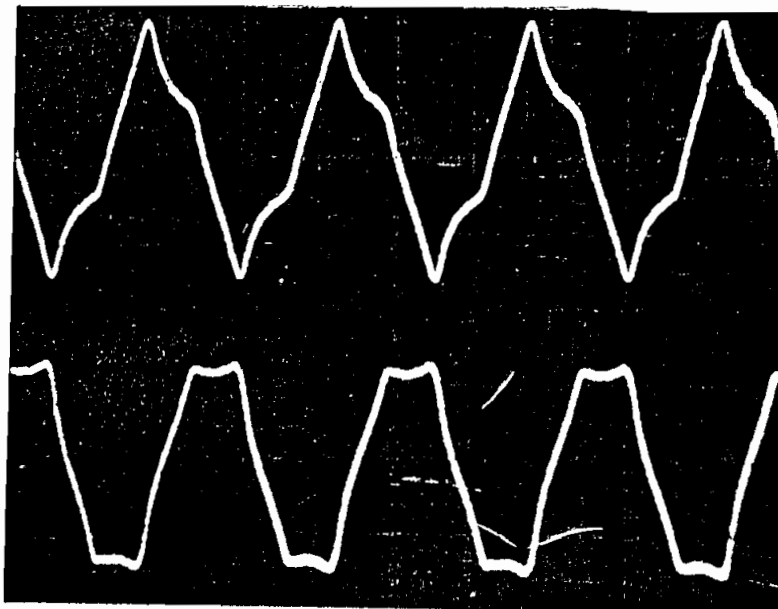
número de polos = 2

frecuencia de salida = 50 Hz.

L_{carga} = 0.25 H.

f_{pa} = 0.0666

f_{pb} = 0.0655



CORRIENTE CARGA INDUCTIVA

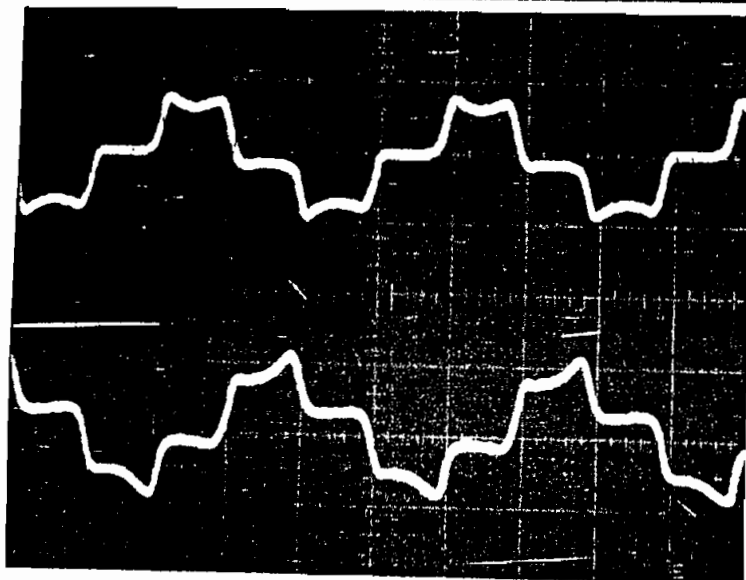
EJE X 10 ns/div

EJE Y 1 A/cm

CARGA 4

I_f = 6 A

1500 rpm



VOLTAJE CARGA INDUCTIVA

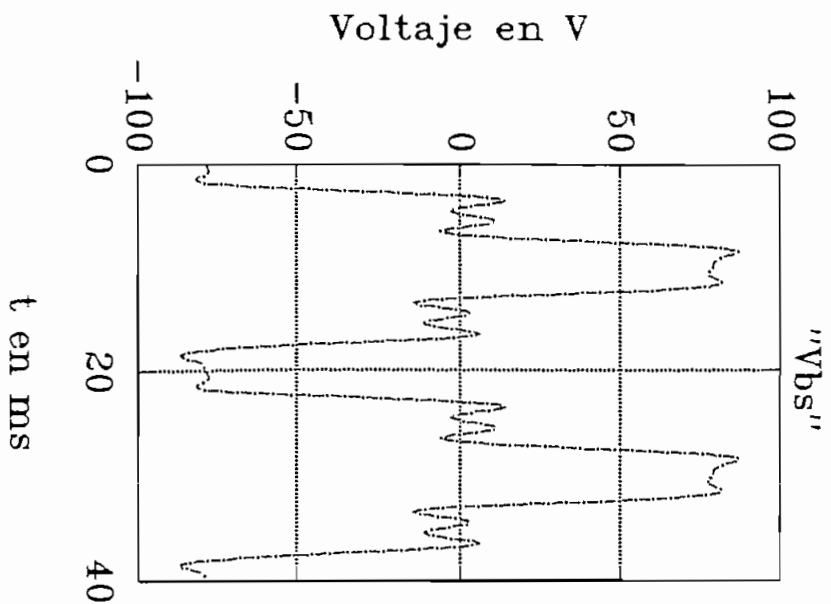
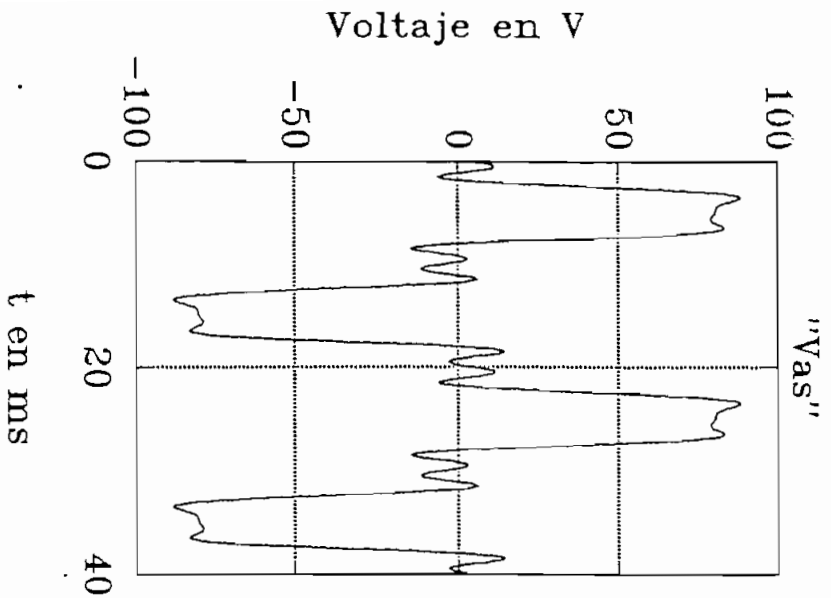
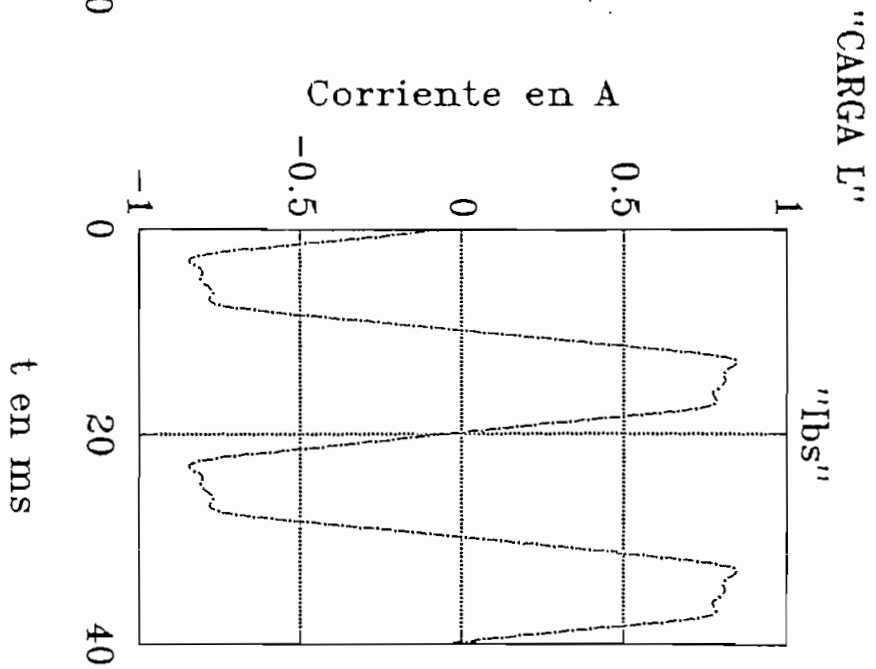
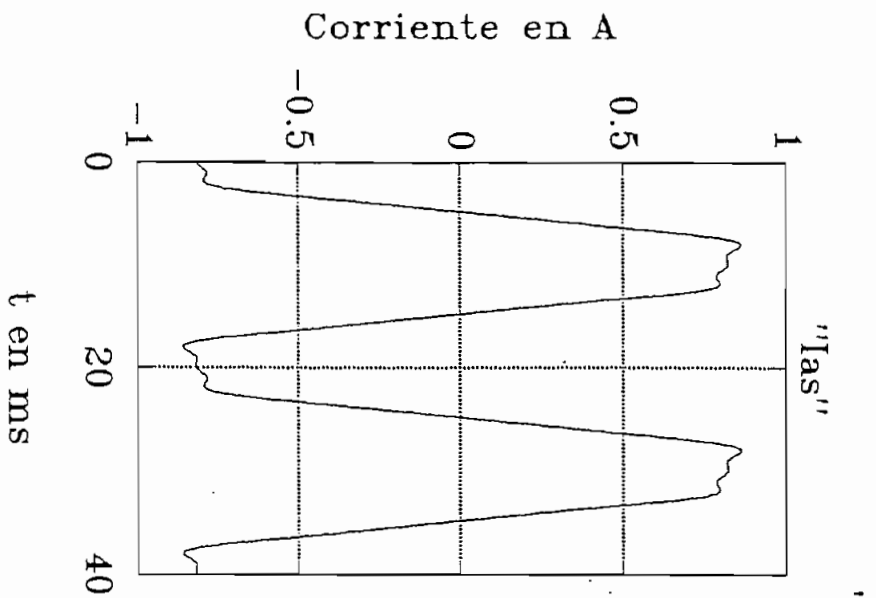
EJE X 5 ns/div

EJE Y 100 V/cm

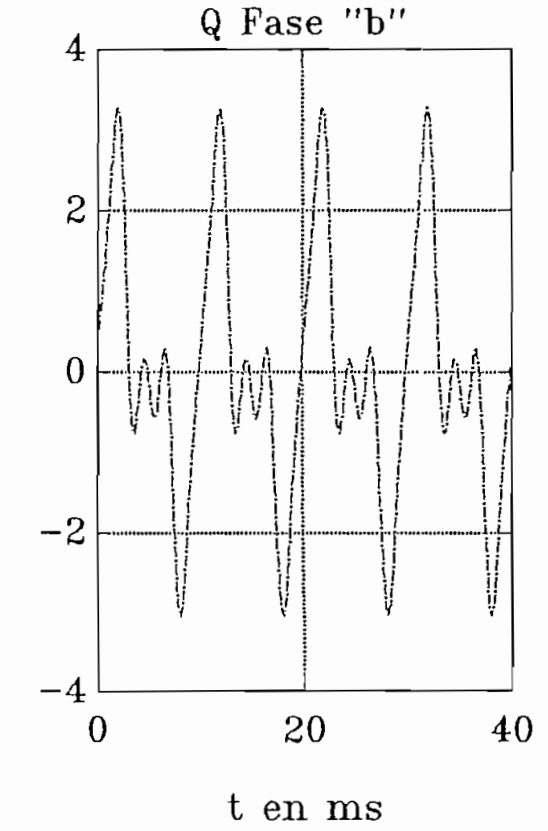
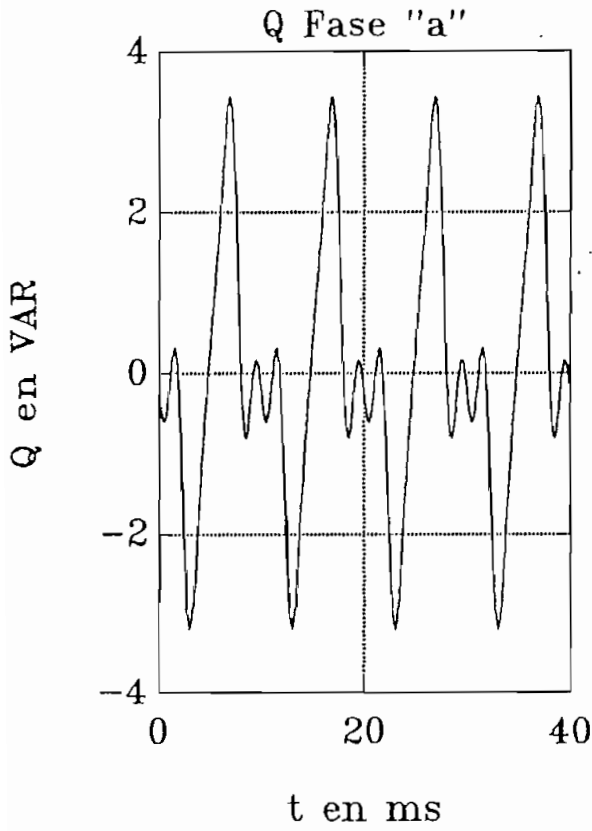
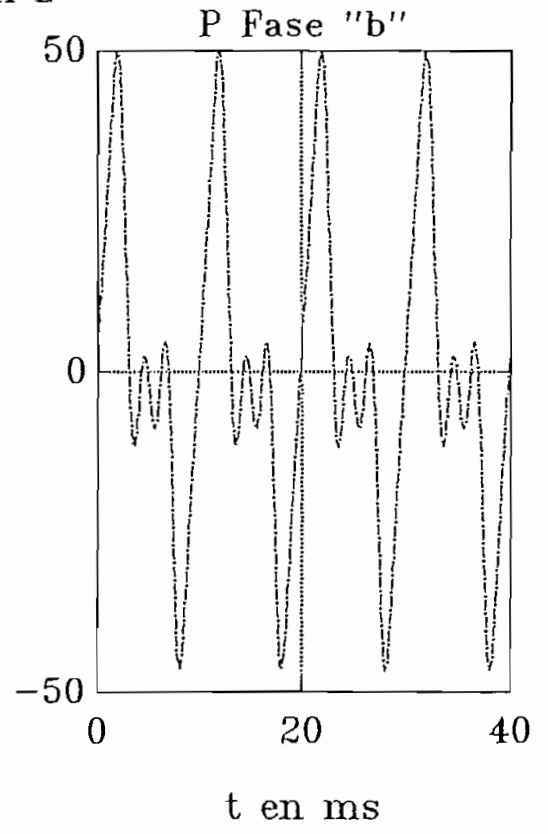
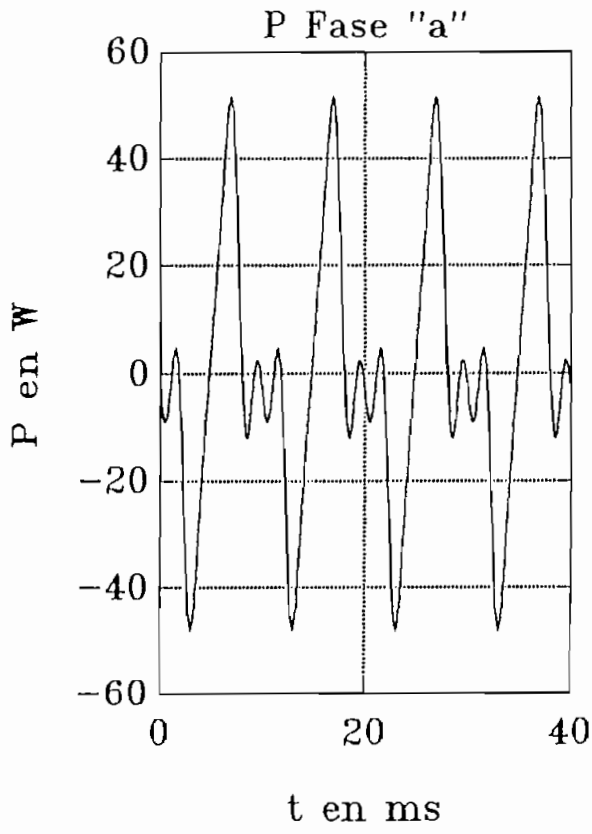
CARGA 4

I_f = 6 A

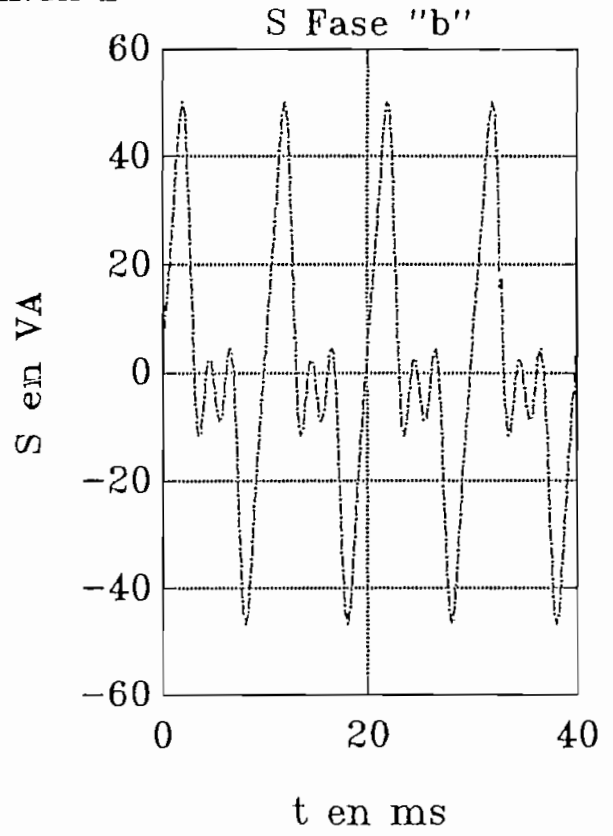
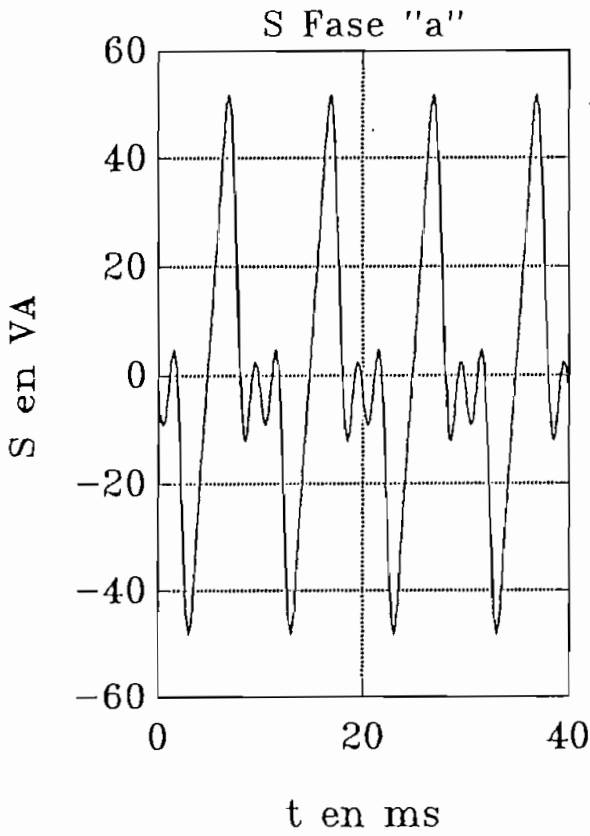
1500 rpm



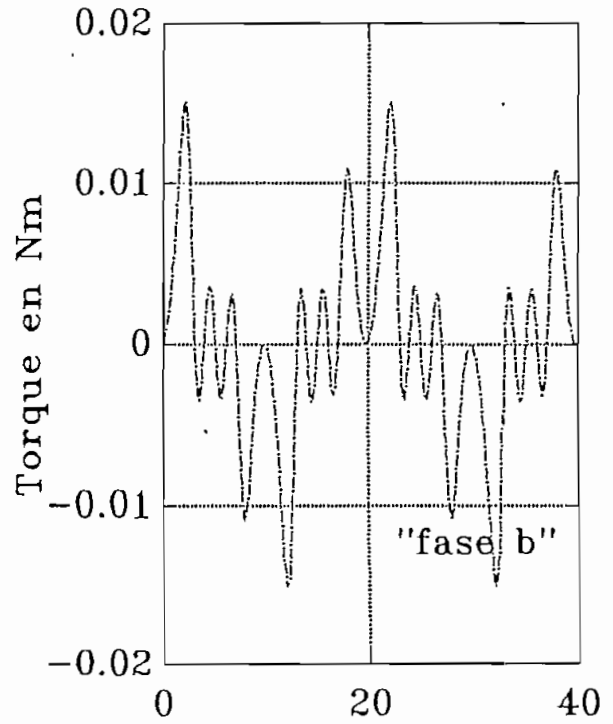
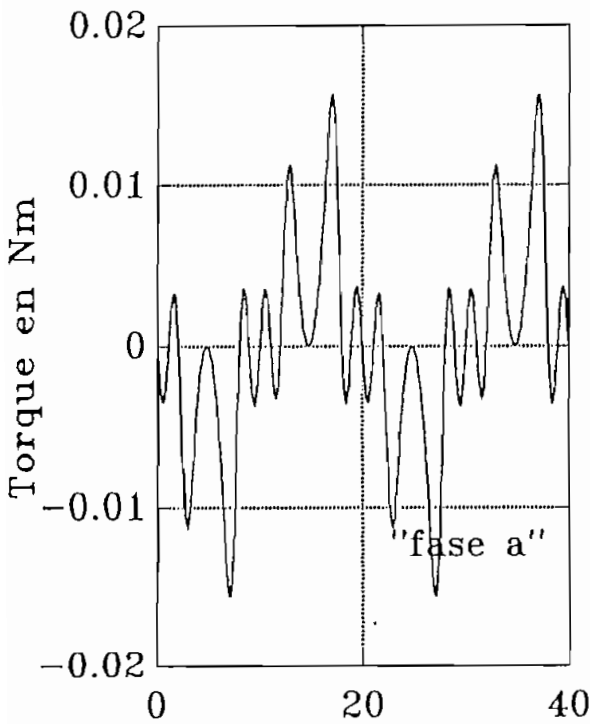
"CARGA L"



"CARGA L"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG." t en ms

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA INDUCTIVA

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \ \Omega.$

$I_f = 6 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1640 r.p.m.

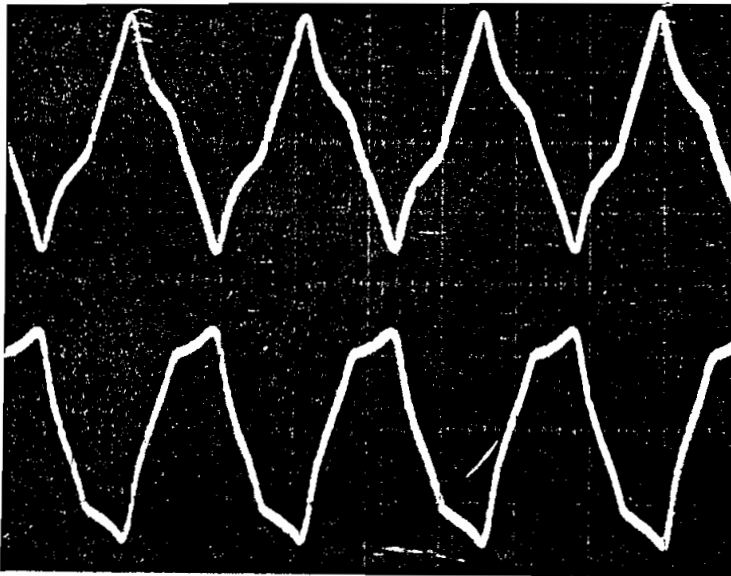
número de polos = 2

frecuencia de salida = 54.67 Hz.

$L_{carga} = 0.5 \text{ H.}$

$f_{pa} = 0.0407$

$f_{pb} = 0.0402$



CORRIENTE CARGA INDUCTIVA

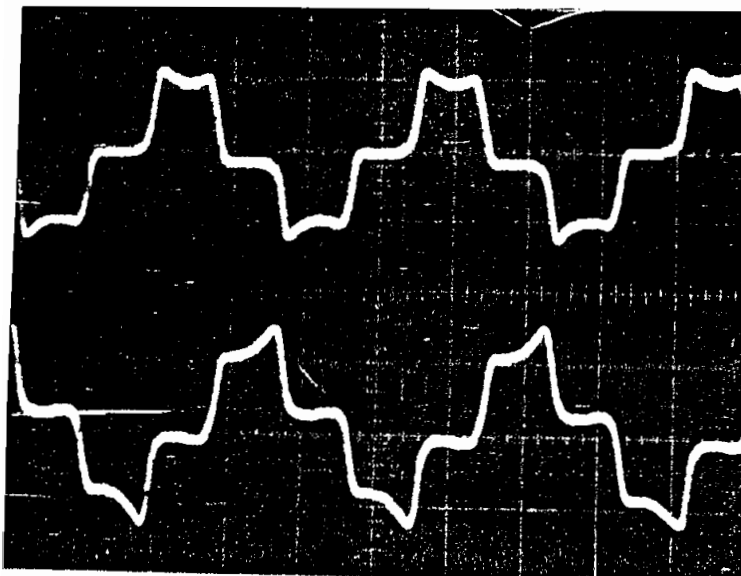
EJE X 10 ns/div

EJE Y 1 A/cm

CARGA 2

$I_f = 6 \text{ A}$

1640 rpm



VOLTAJE CARGA INDUCTIVA

EJE X 5 ns/div

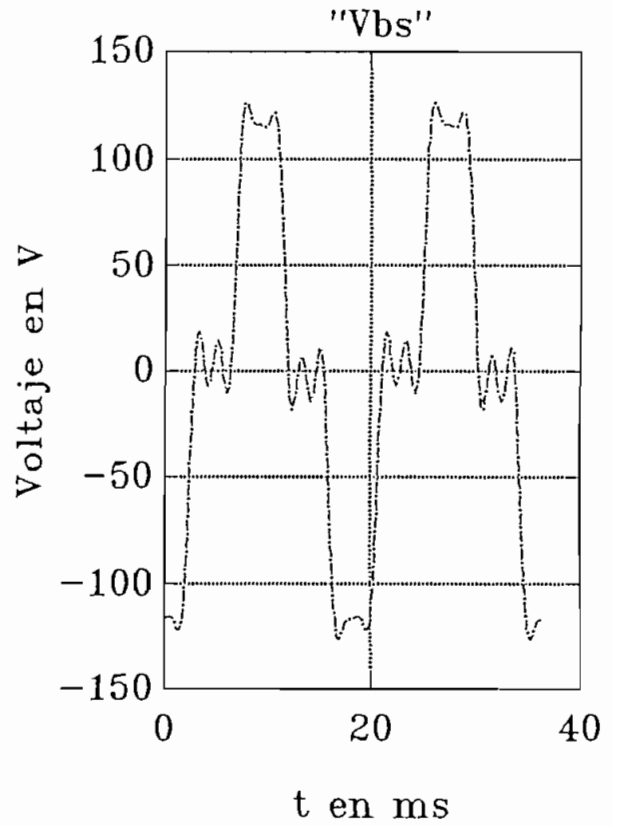
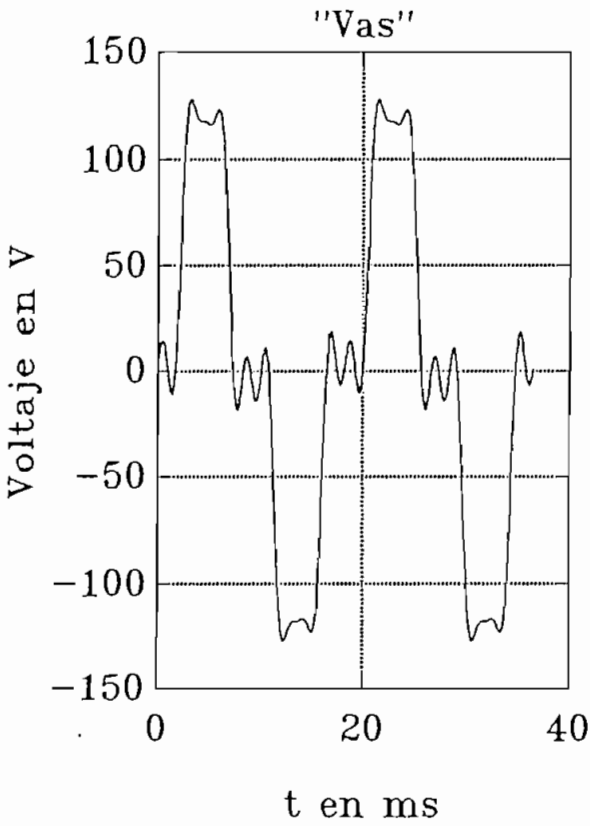
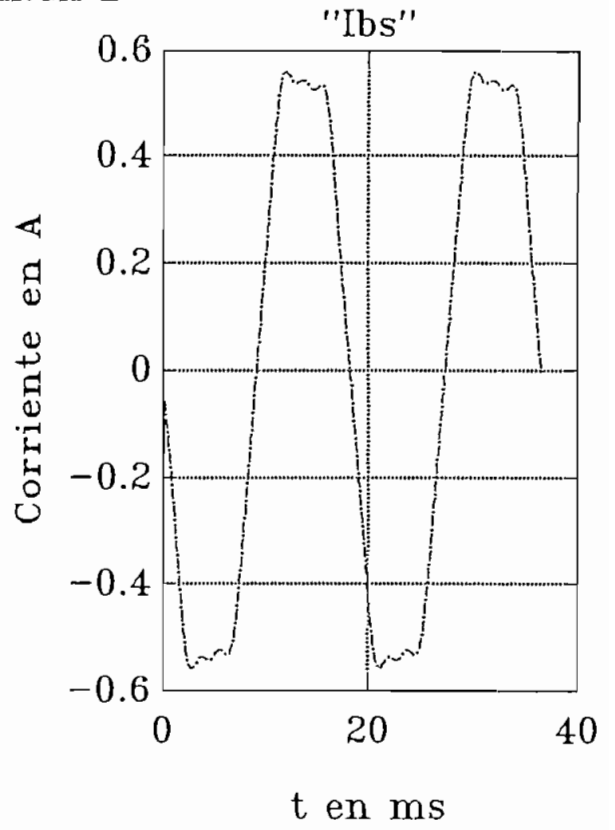
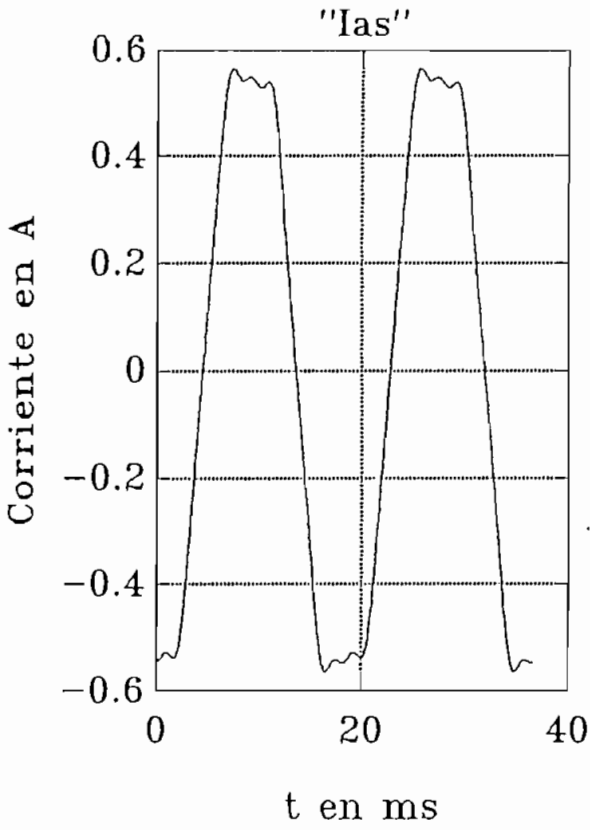
EJE Y 100 V/cm

CARGA 2

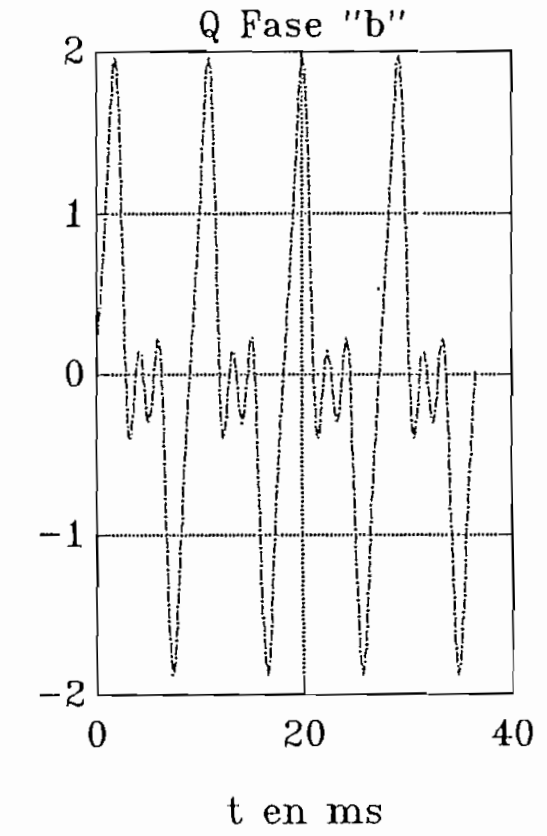
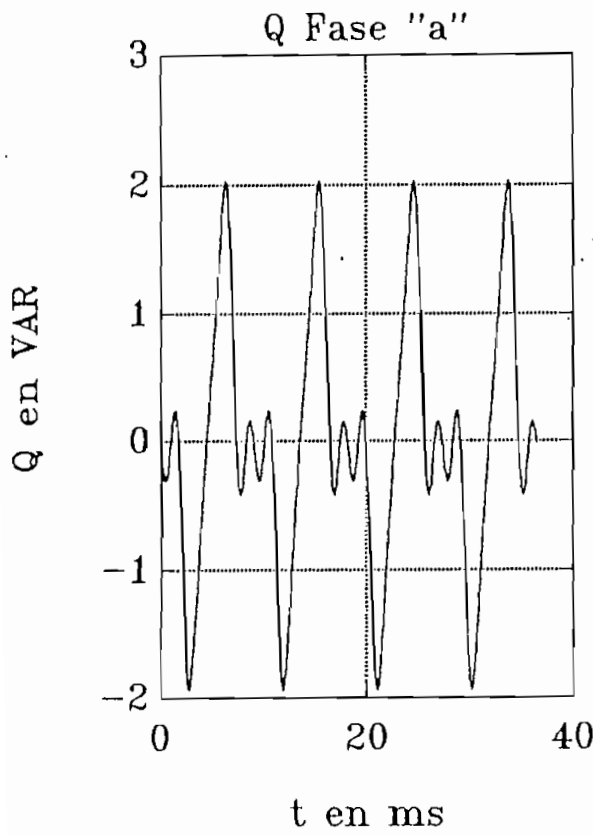
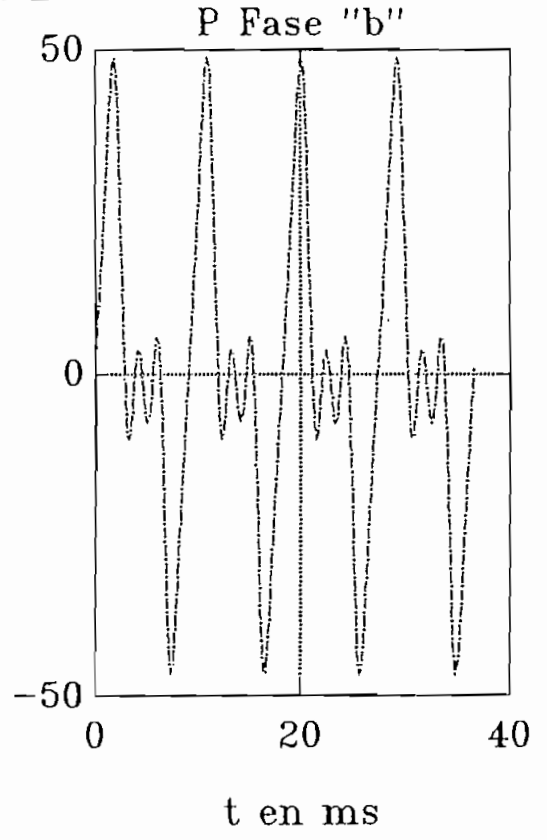
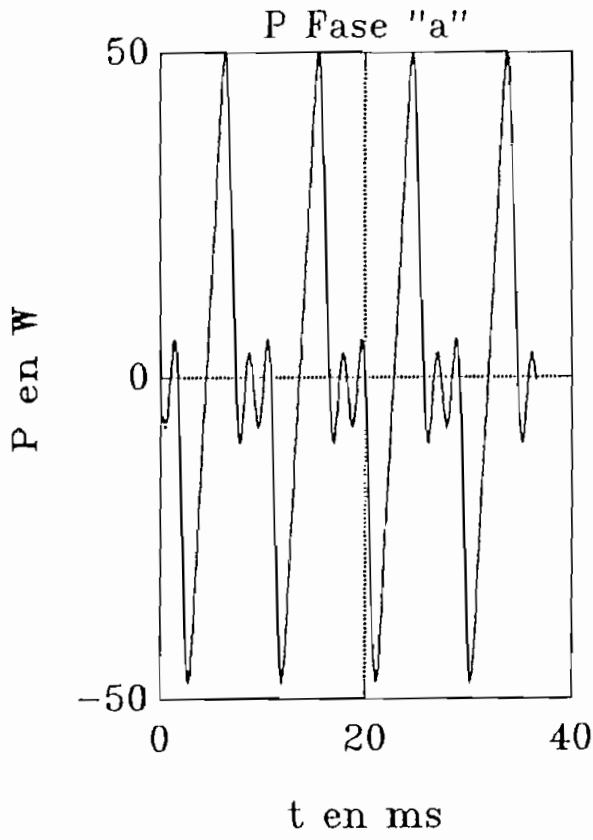
$I_f = 6 \text{ A}$

1640 rpm

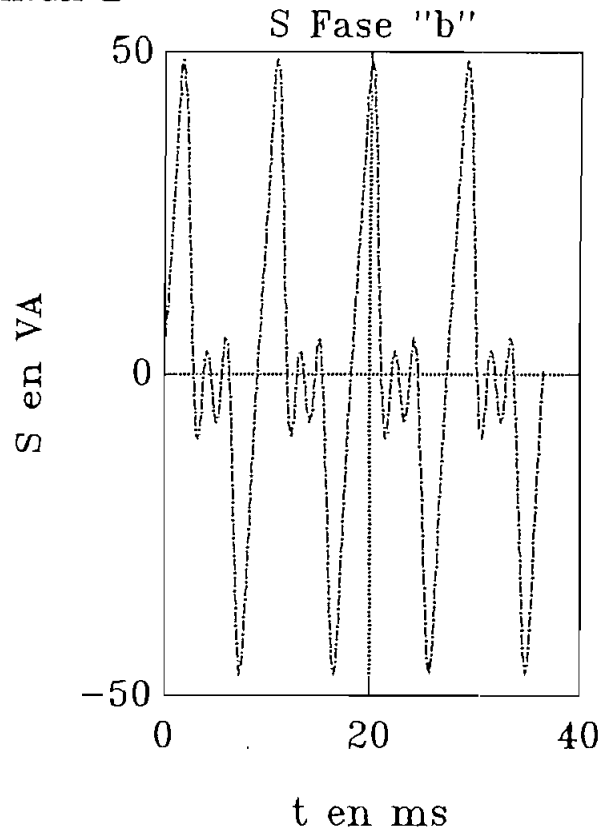
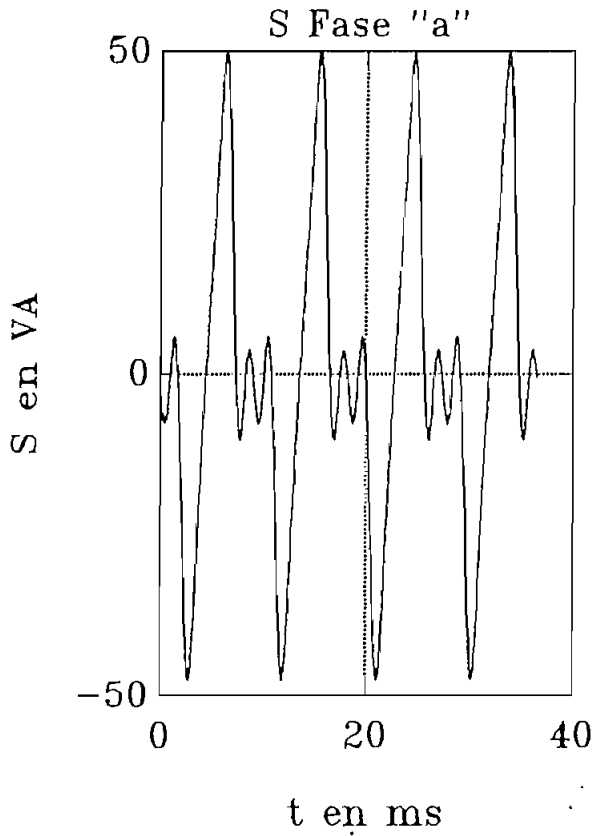
"CARGA L"



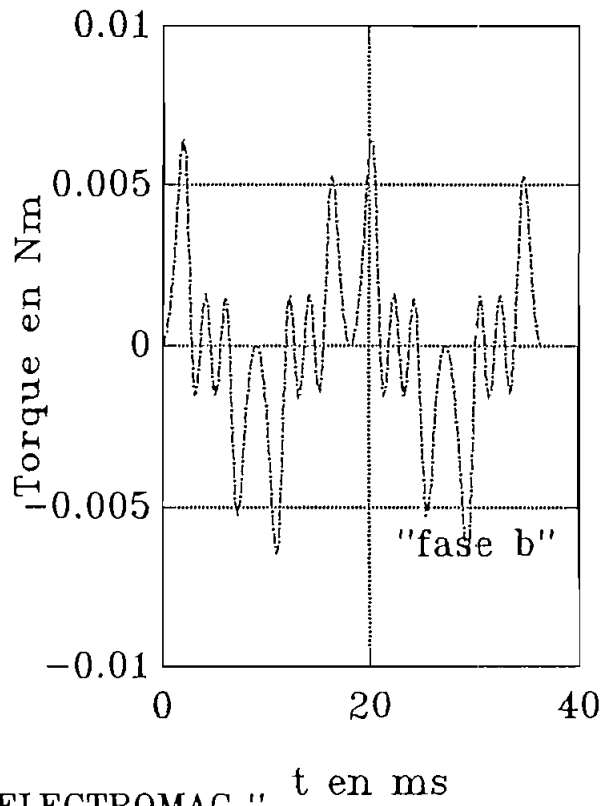
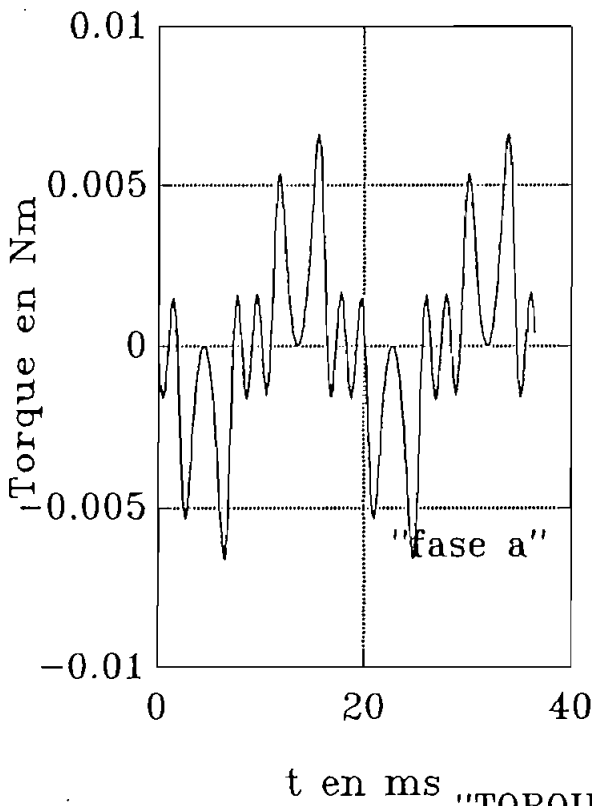
"CARGA L"



"CARGA L"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA CAPACITIVA

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \ \Omega.$

$I_f = 2.3 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1620 r.p.m.

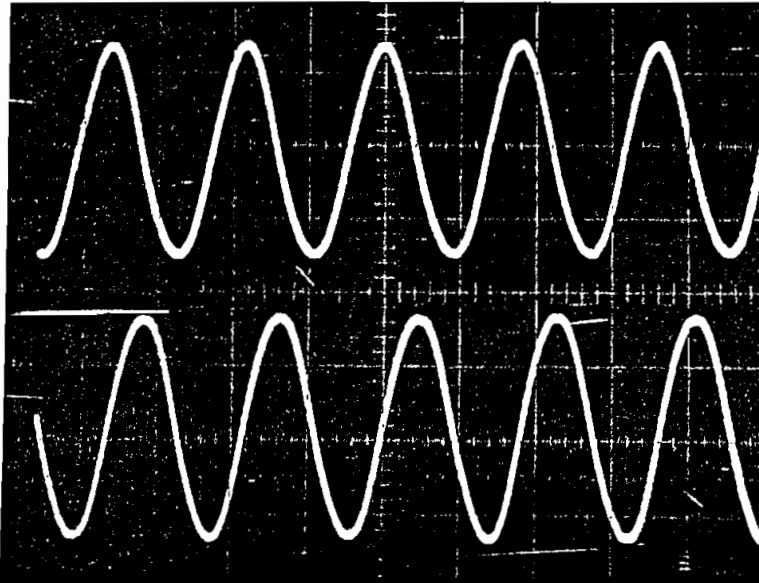
número de polos = 2

frecuencia de salida= 54 Hz.

$C_{carga} = 20 \ \mu\text{F.}$

$f_{pa} = -0.166$

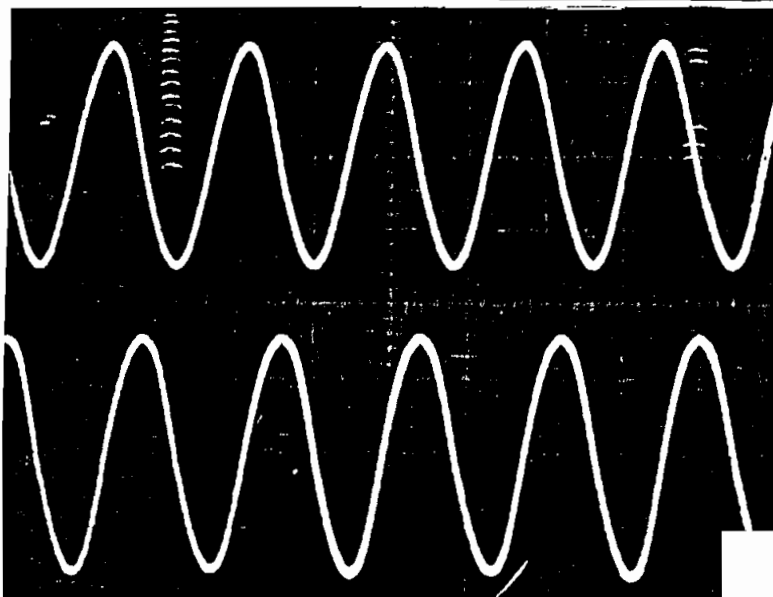
$f_{pb} = -0.174$



CORRIENTE CARGA CAPACITIVA

EJE X 10 ms/div
EJE Y 1 A/cm

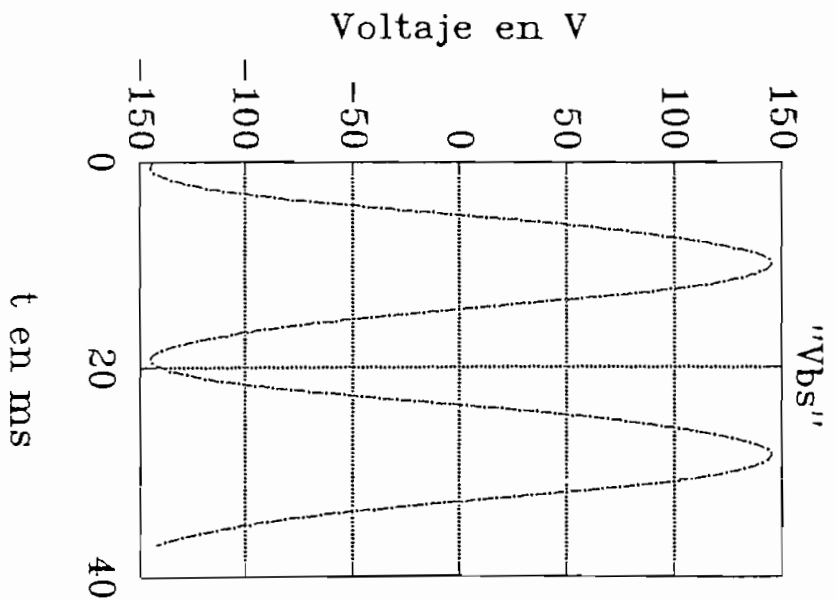
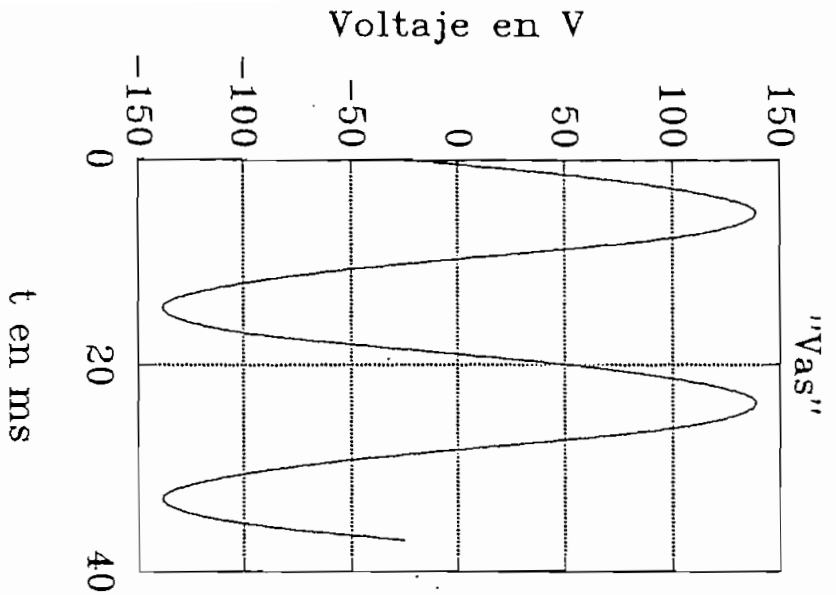
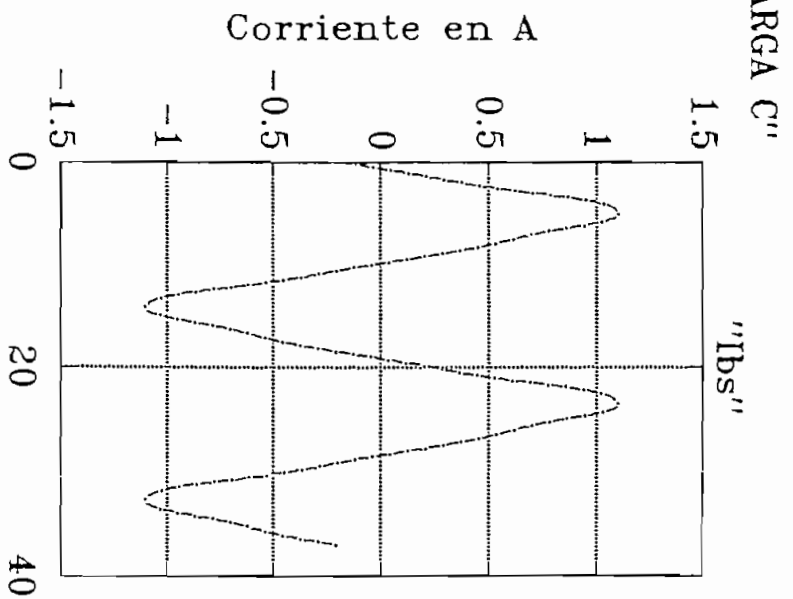
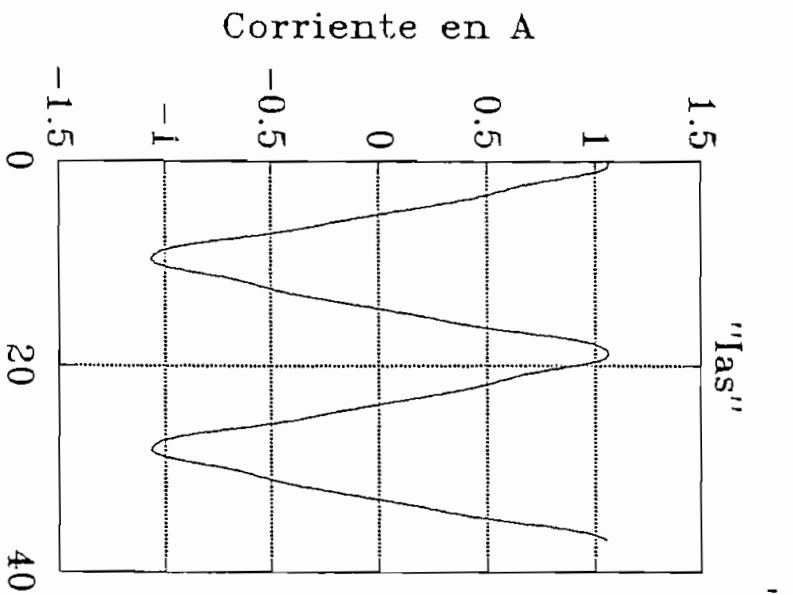
CARGA 2
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
1620 rpm



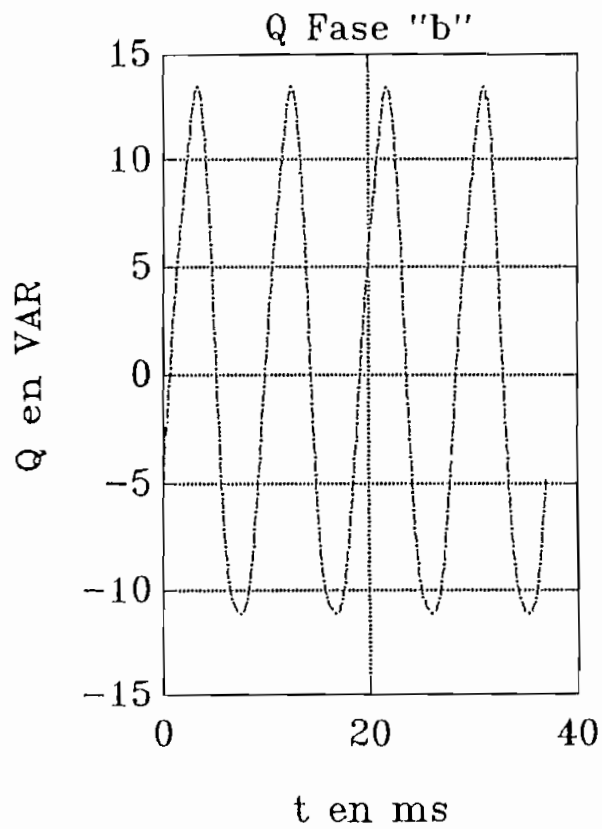
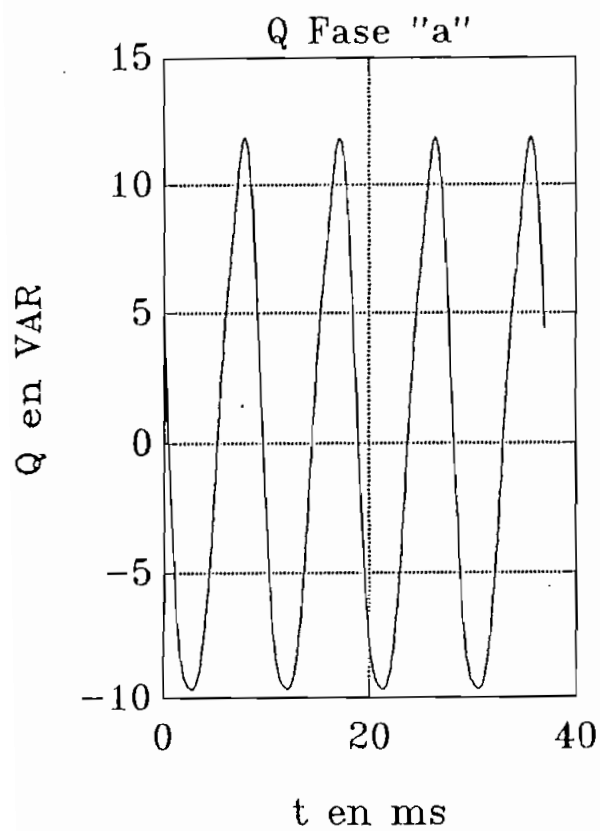
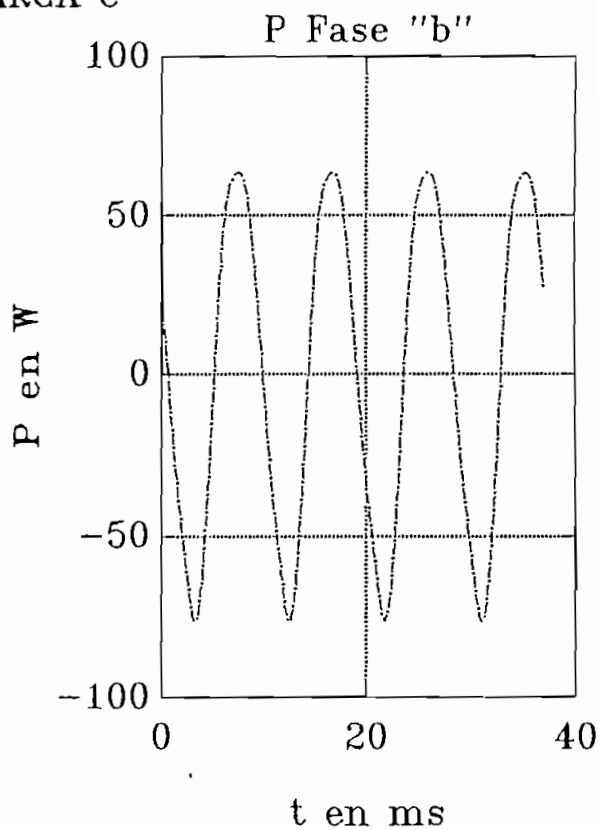
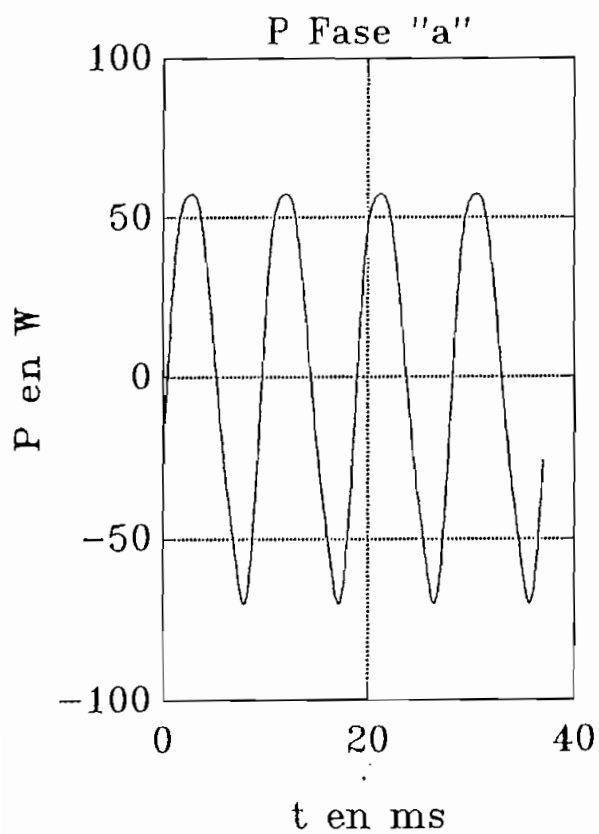
VOLTAJE CARGA CAPACITIVA

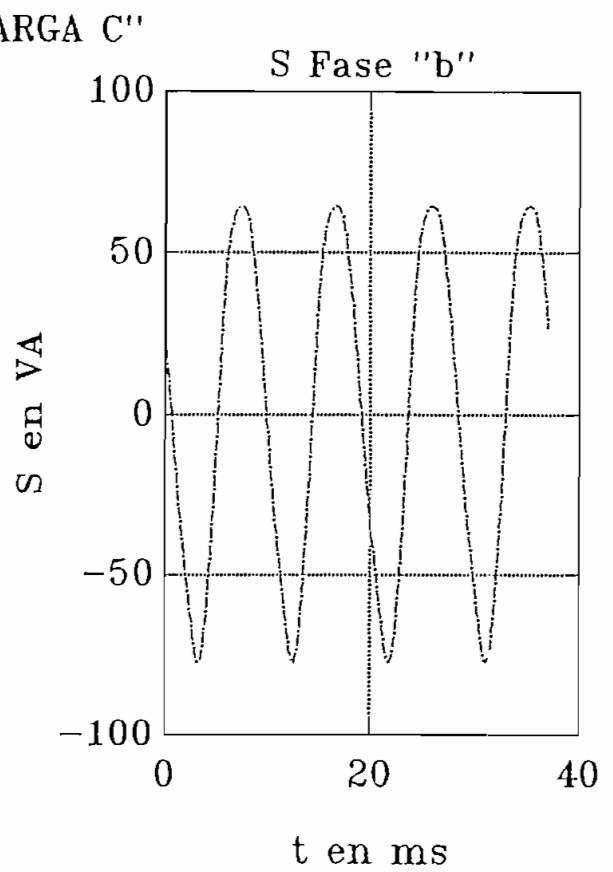
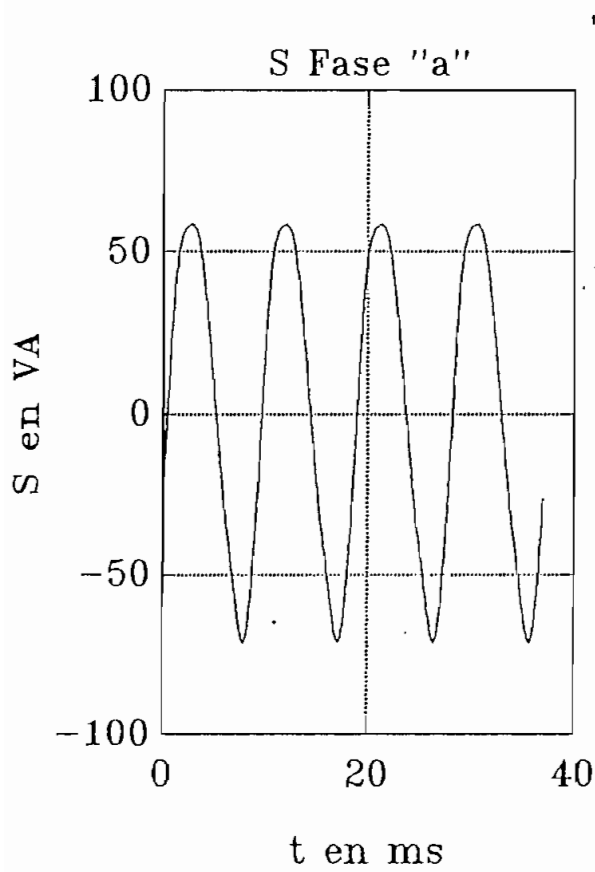
EJE X 10 ms/div
EJE Y 100 V/cm

CARGA 2
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
1620 rpm

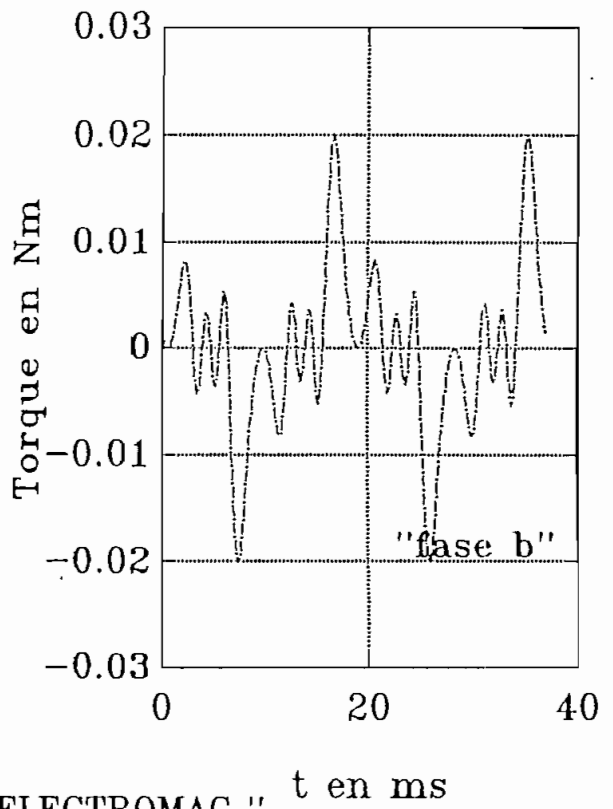
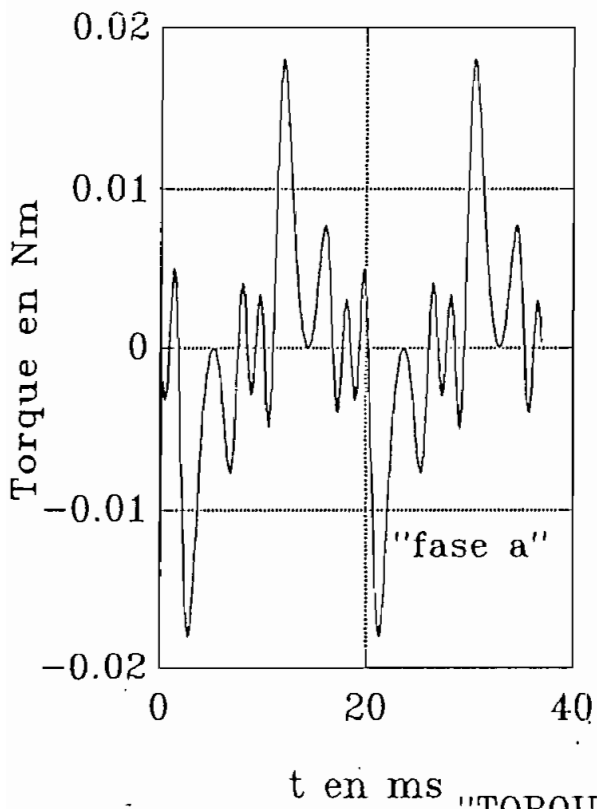


"CARGA C"





"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA CAPACITIVA

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \Omega.$

$I_f = 4 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1150 r.p.m.

número de polos = 2

frecuencia de salida = 38.33 Hz.

$C_{carga} = 40 \mu\text{F.}$

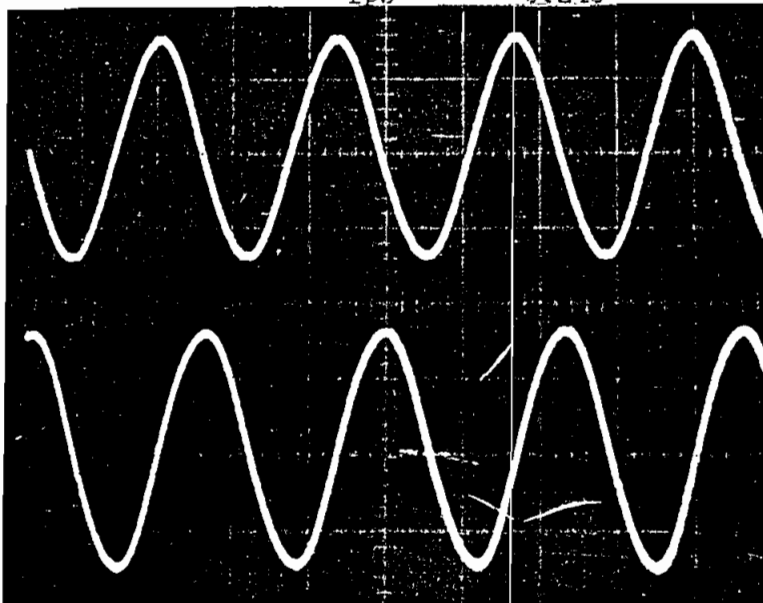
$f_{pa} = -0.235$

$f_{pb} = -0.246$

CORRIENTE CARGA CAPACITIVA

EJE X 10 ms/div
EJE Y 1 A/cm

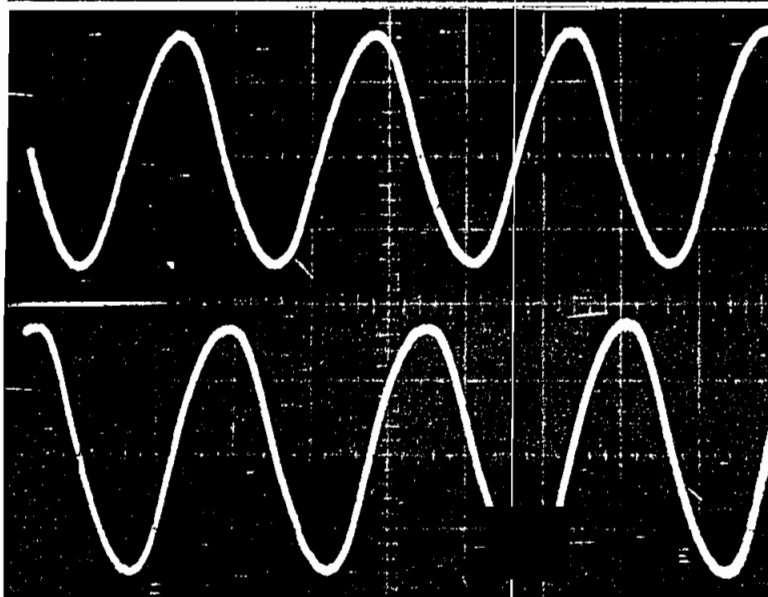
CARGA 4
 $I_f = 4 \text{ A}$
1150 rpm



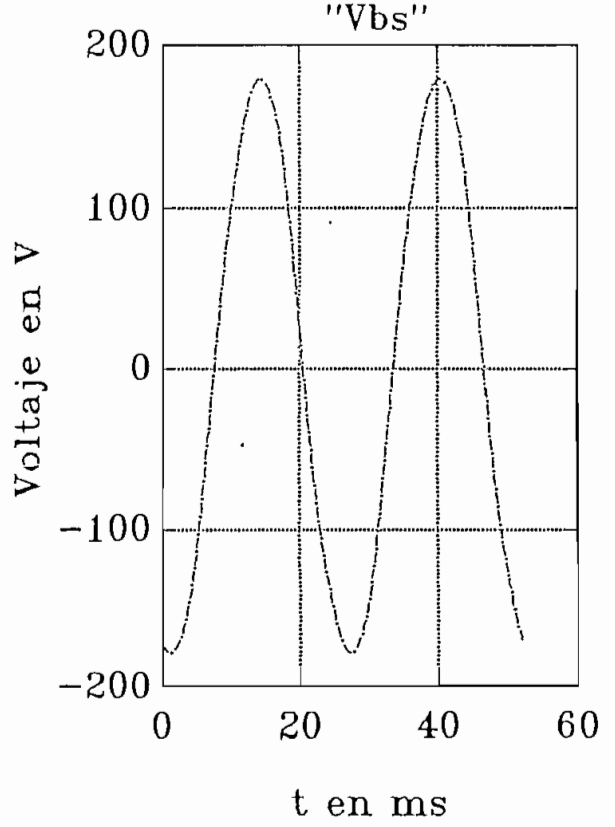
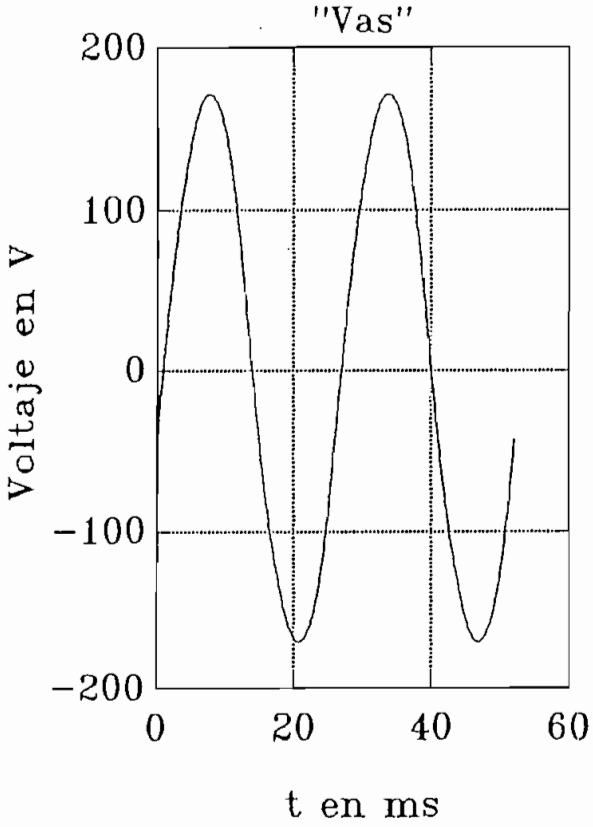
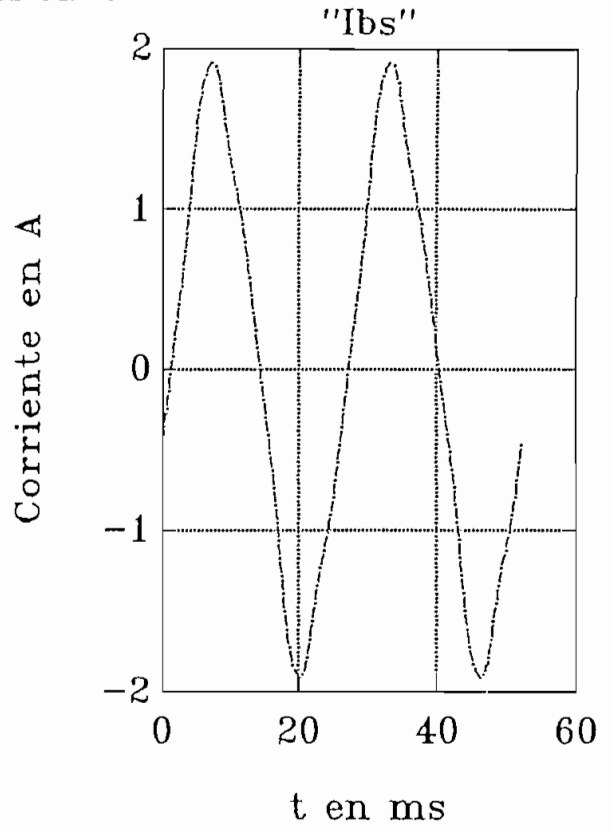
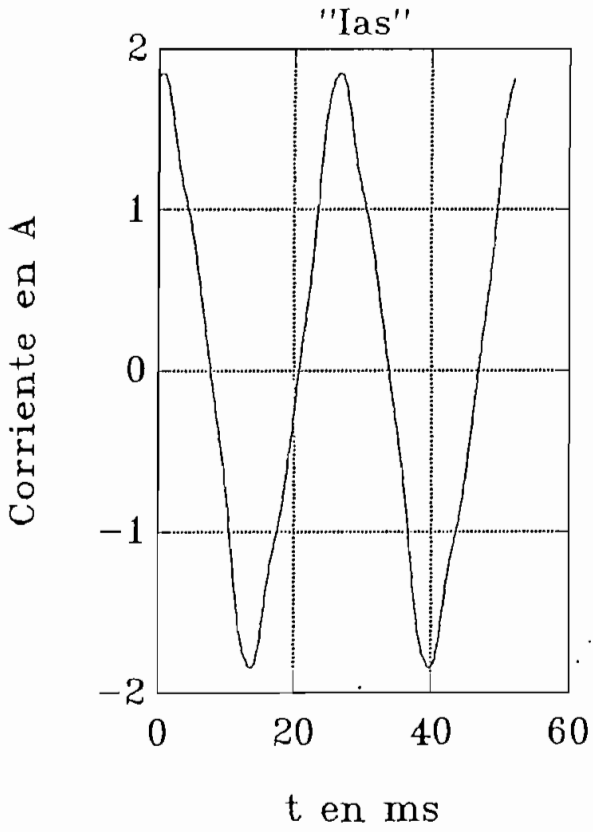
VOLTAJE CARGA CAPACITIVA

EJE X 10 ms/div
EJE Y 100 V/cm

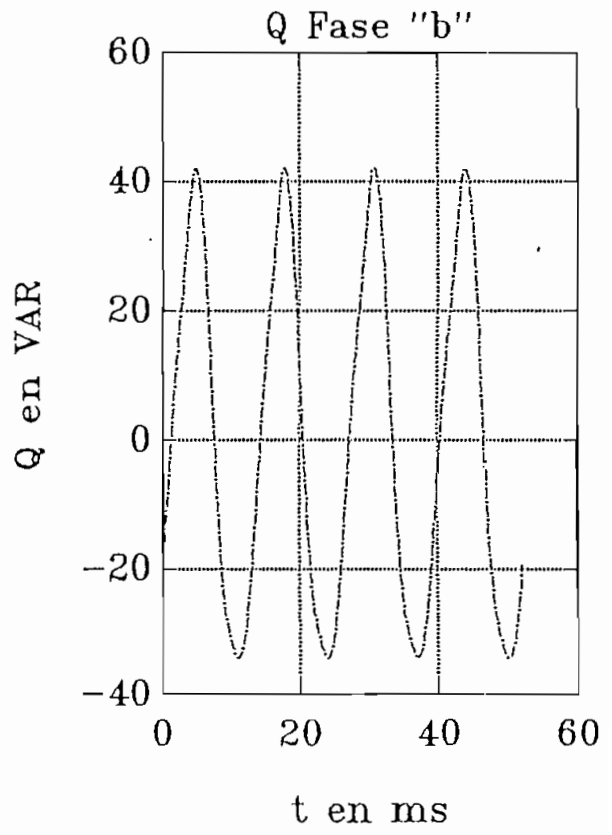
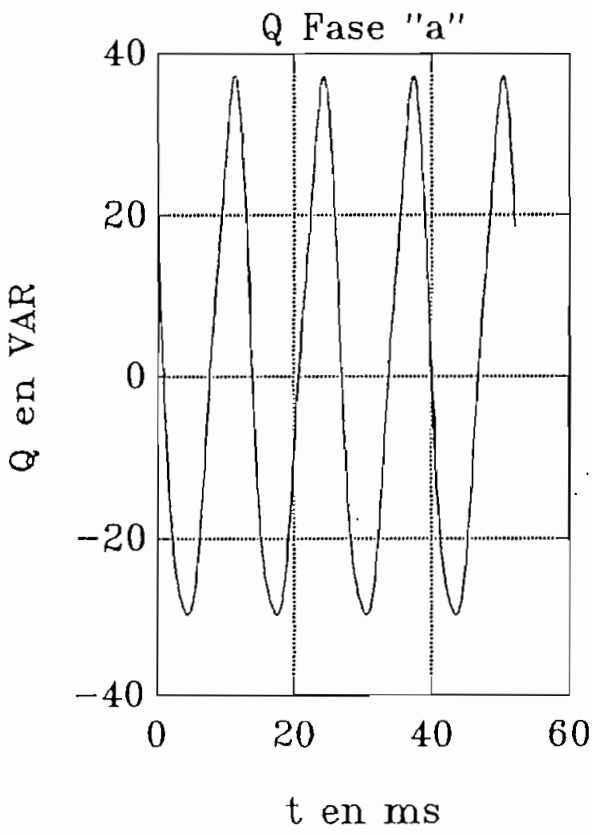
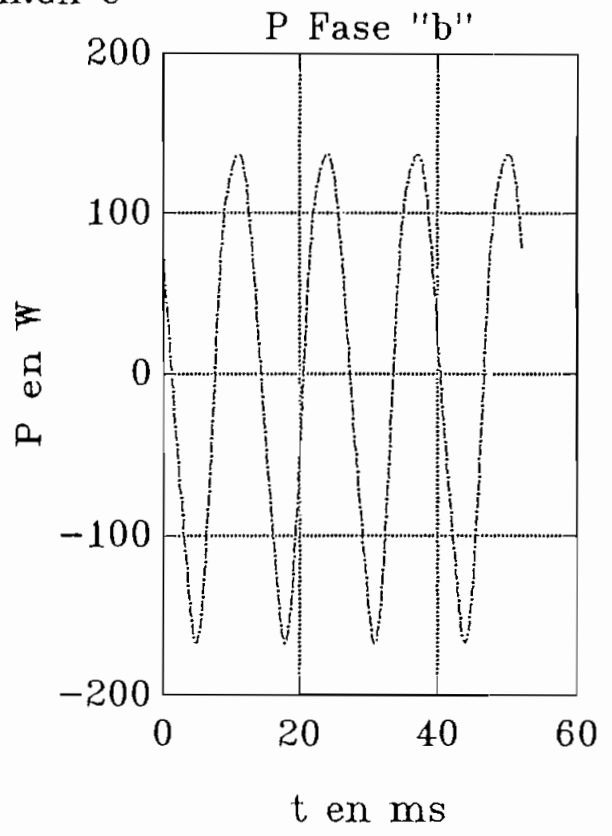
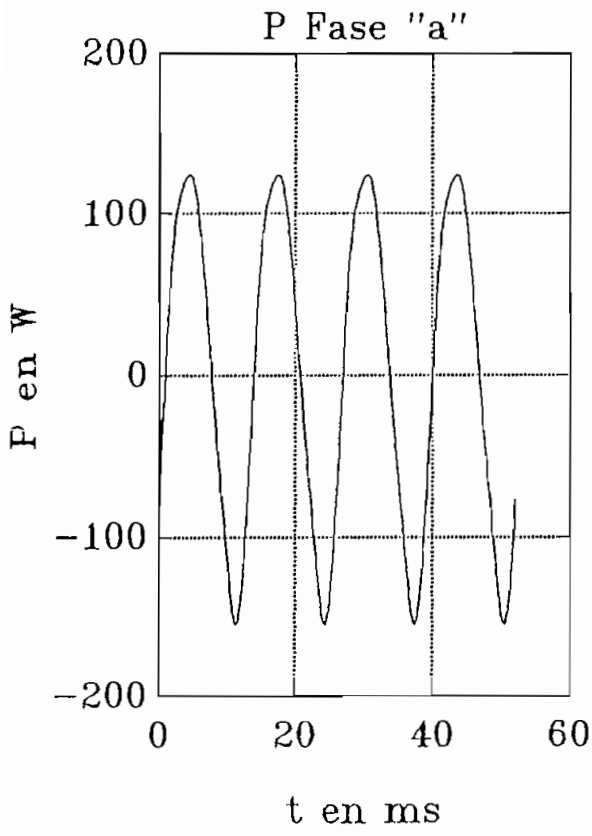
CARGA 4
 $I_f = 4 \text{ A}$
1150 rpm

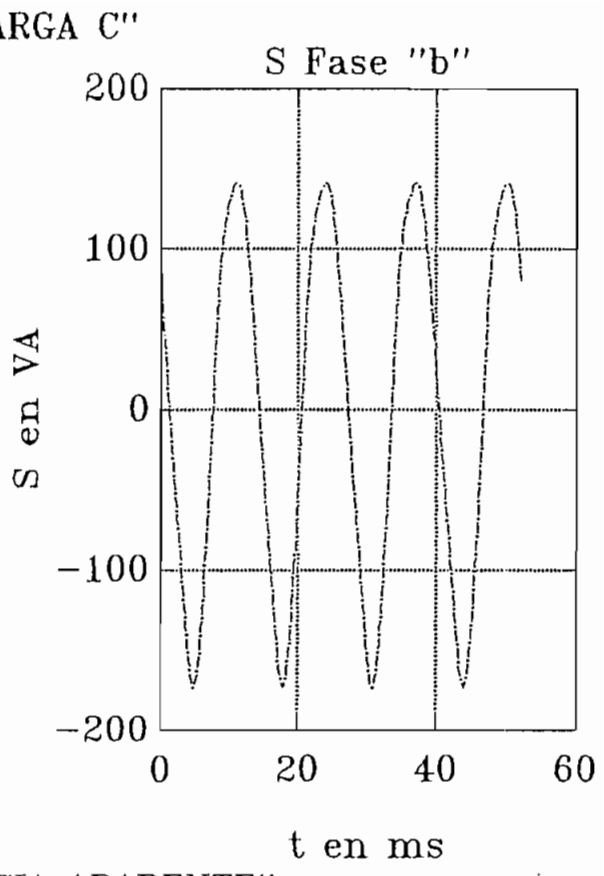
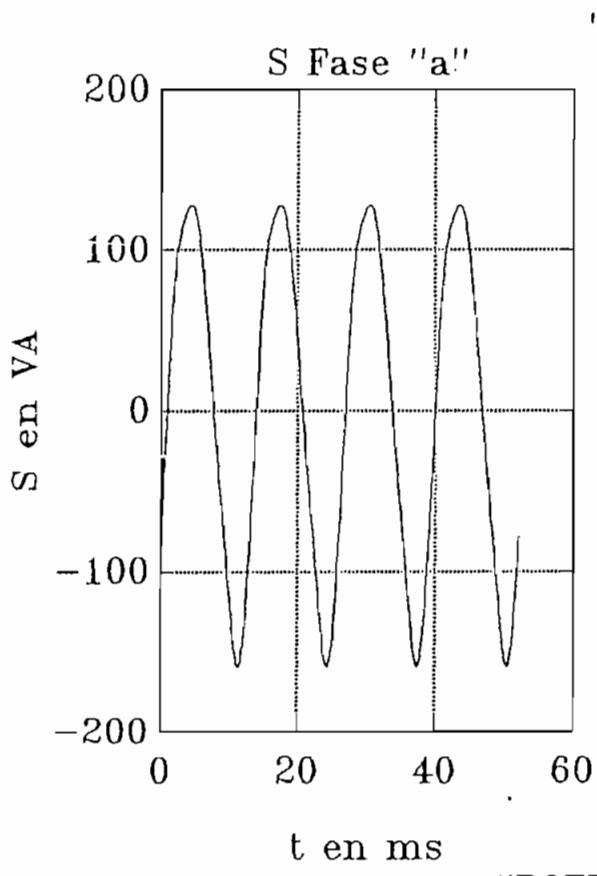


"CARGA C"

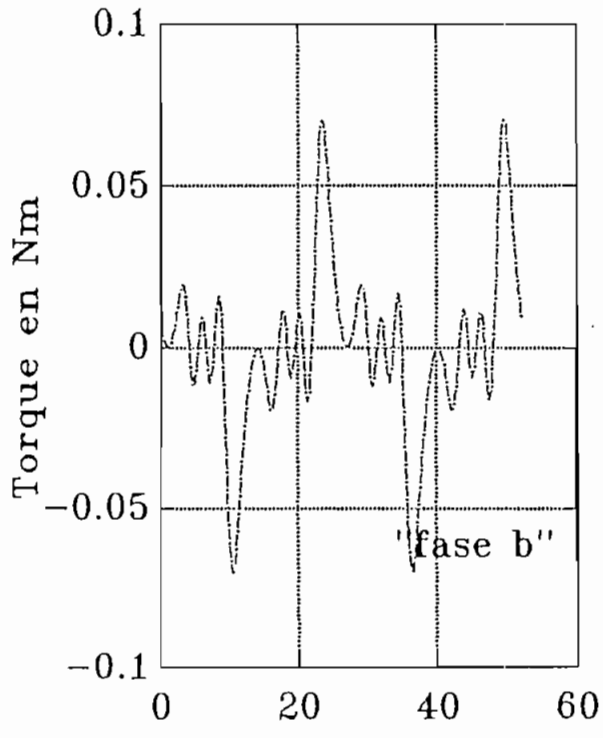
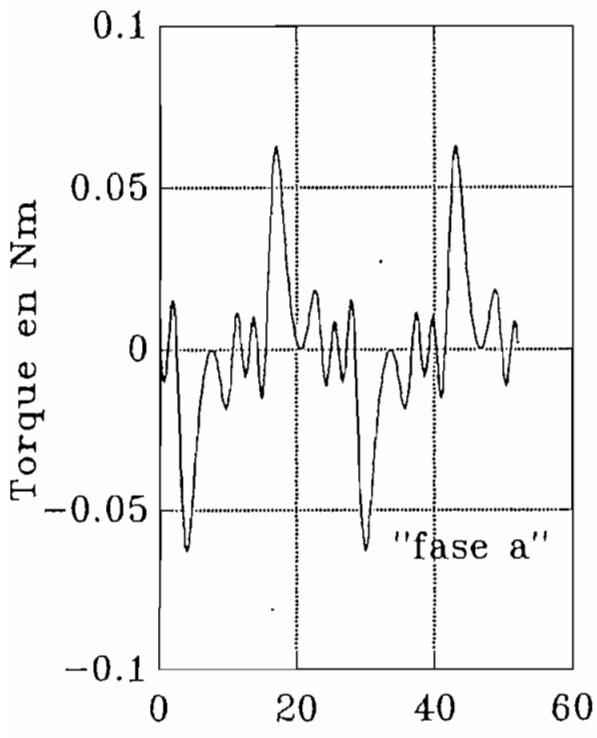


"CARGA C"





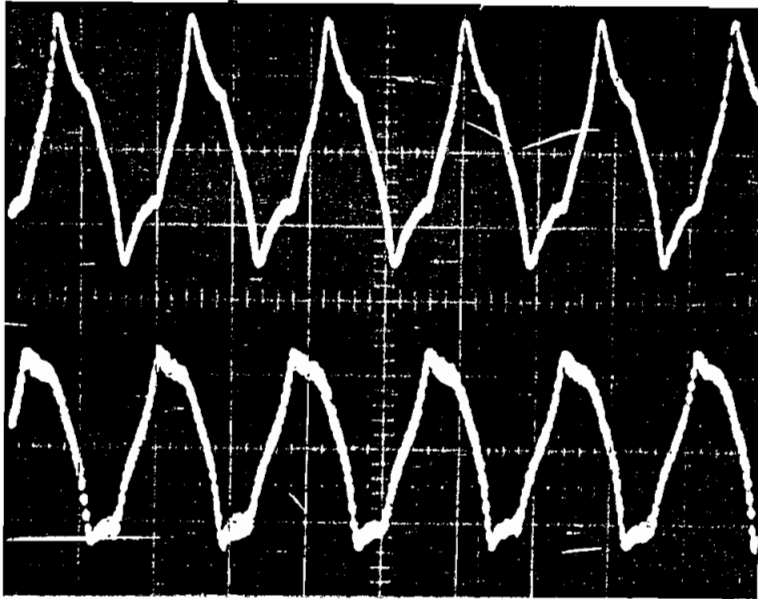
"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG." t en ms

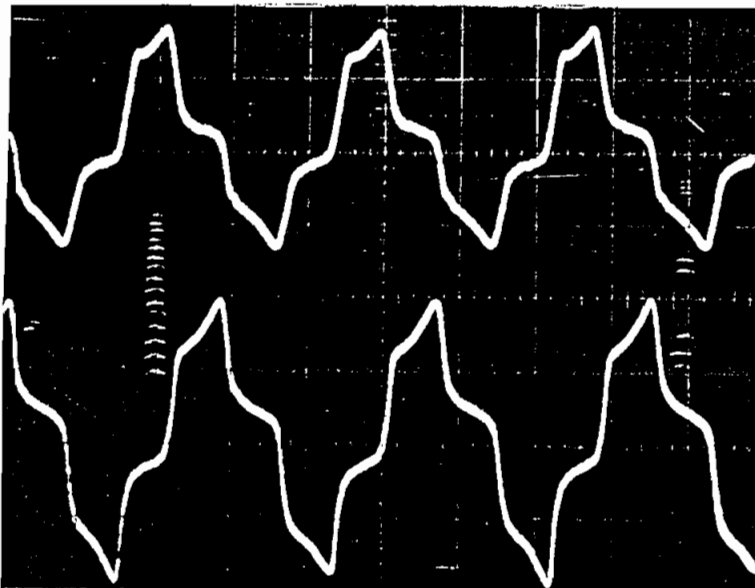
DATOS DE ANALISIS PARA CARGA R - L

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$
 $L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$
 $L_o = 0.06795 \text{ H.}$
 $r_s = 10.5 \ \Omega.$
 $I_f = 4 \text{ A.}$
velocidad del rotor = 1600 r.p.m.
número de polos = 2
frecuencia de salida = 53.33 Hz.
 $R_{carga} = 120 \ \Omega.$
 $L_{carga} = 0.5 \text{ H.}$
 $f_{pa} = 0.46$
 $f_{pb} = 0.457$



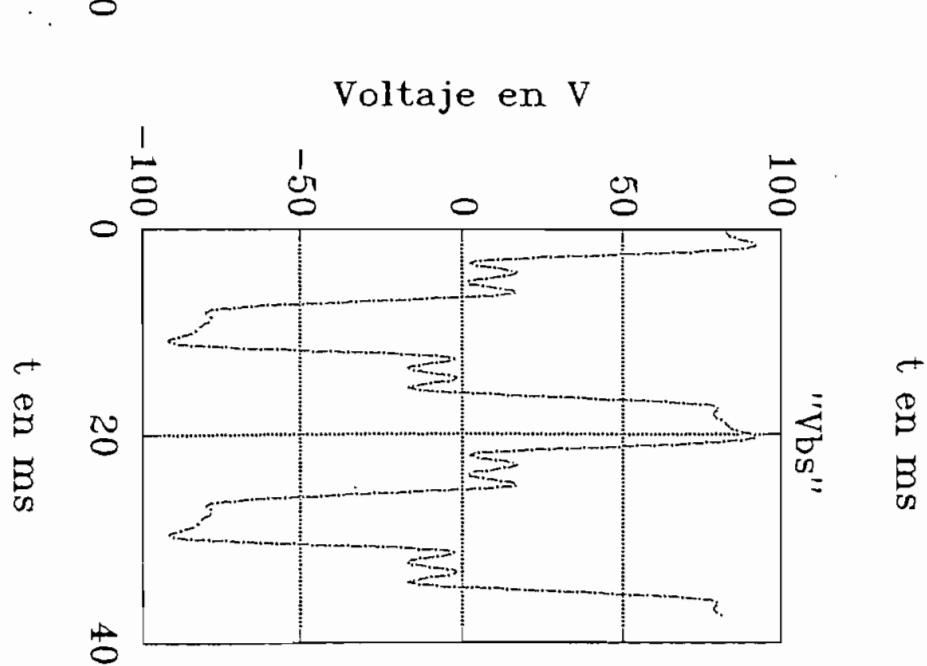
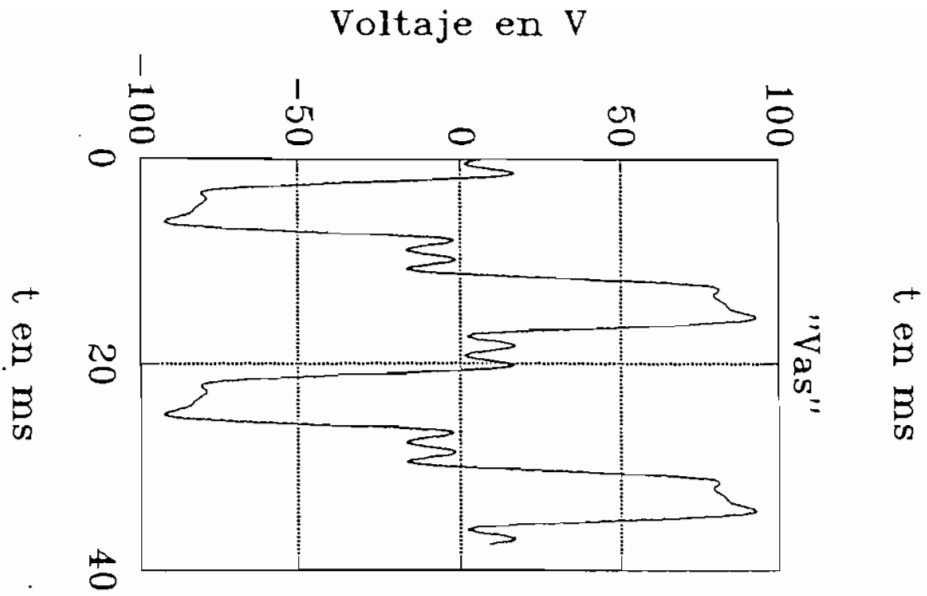
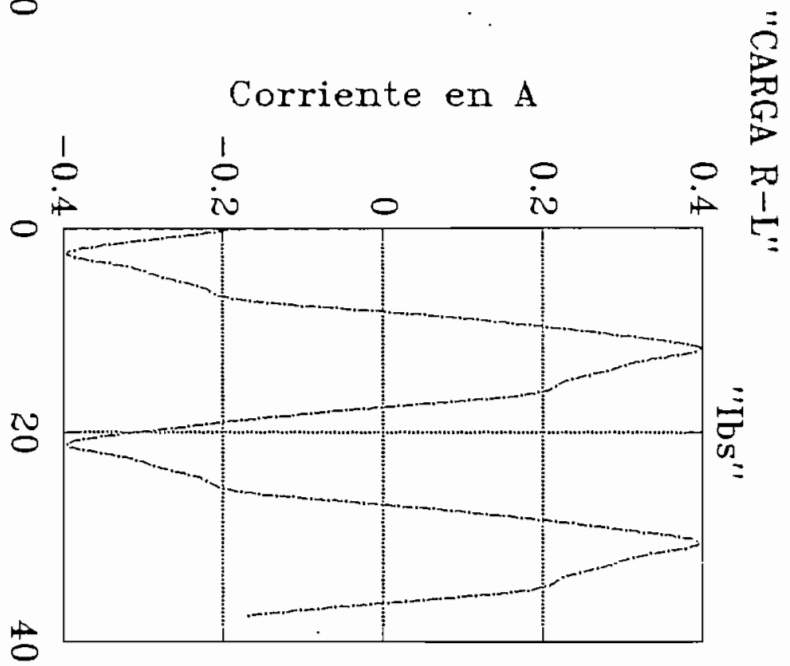
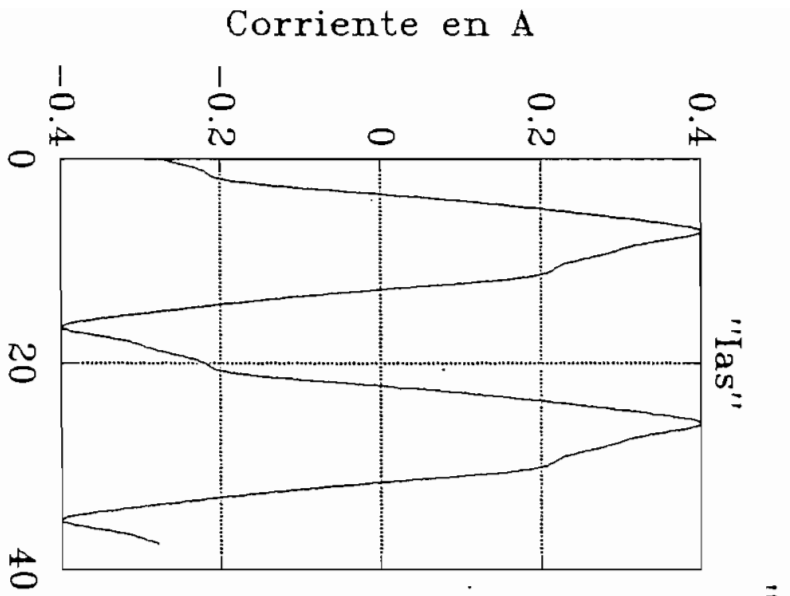
CORRIENTE CARGA EL
EJE X 5 ms/div
EJE Y 0.2 A/cm

CARGA 2
 $I_f = 4 \text{ A}$
1600 rpm

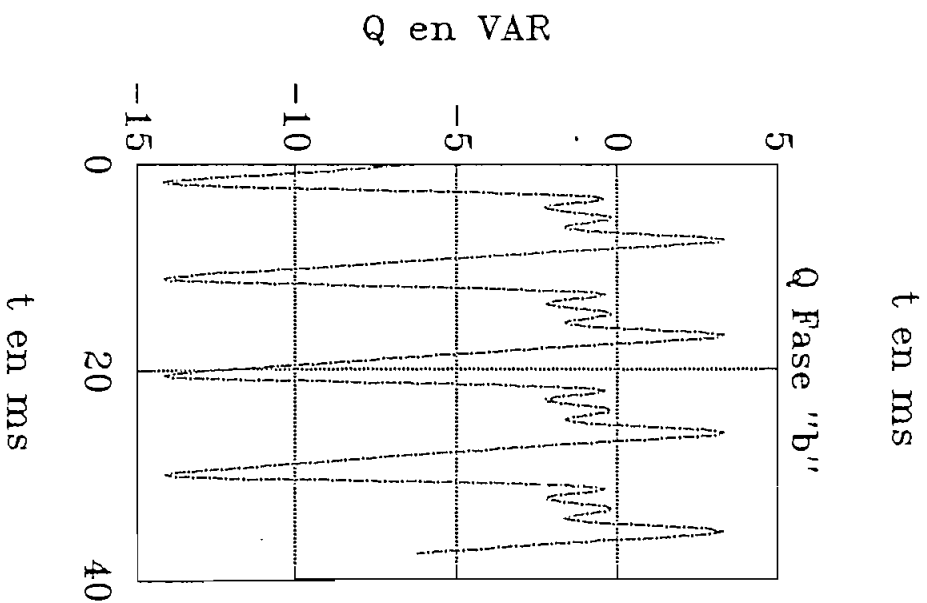
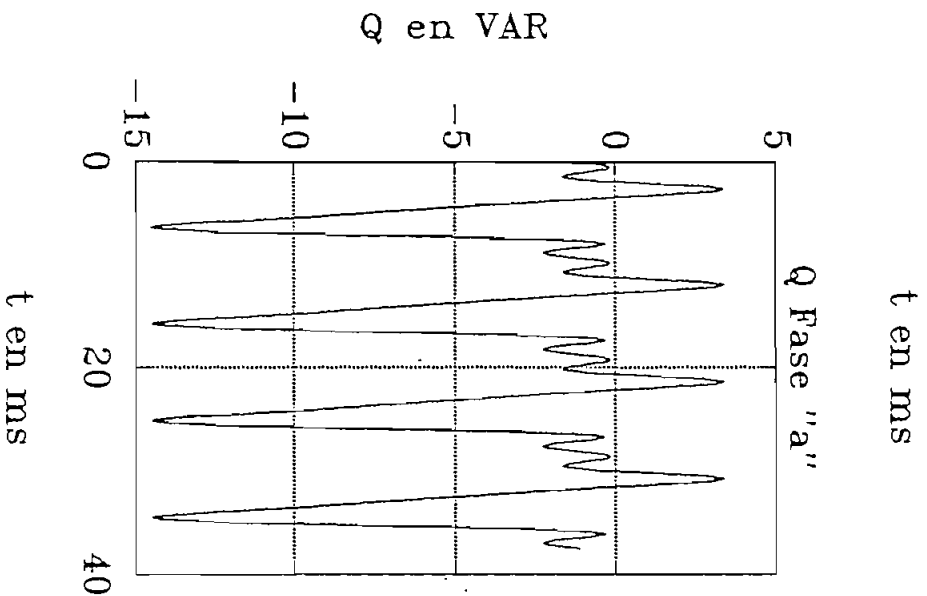
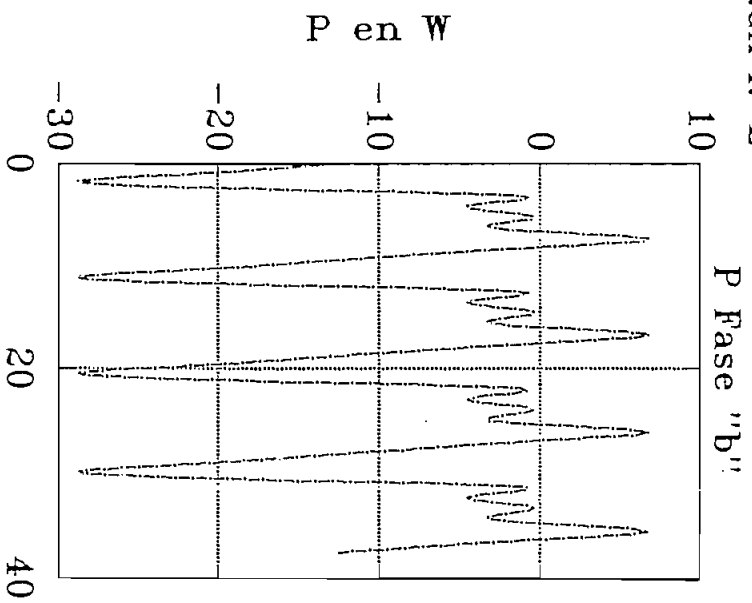
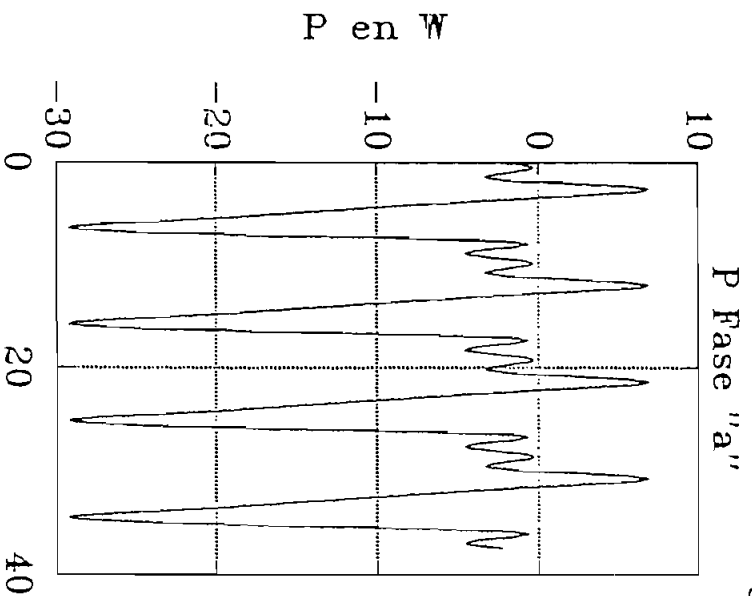


VOLTAJE CARGA RL
EJE X 5 ms/div
EJE Y 50 V/cm

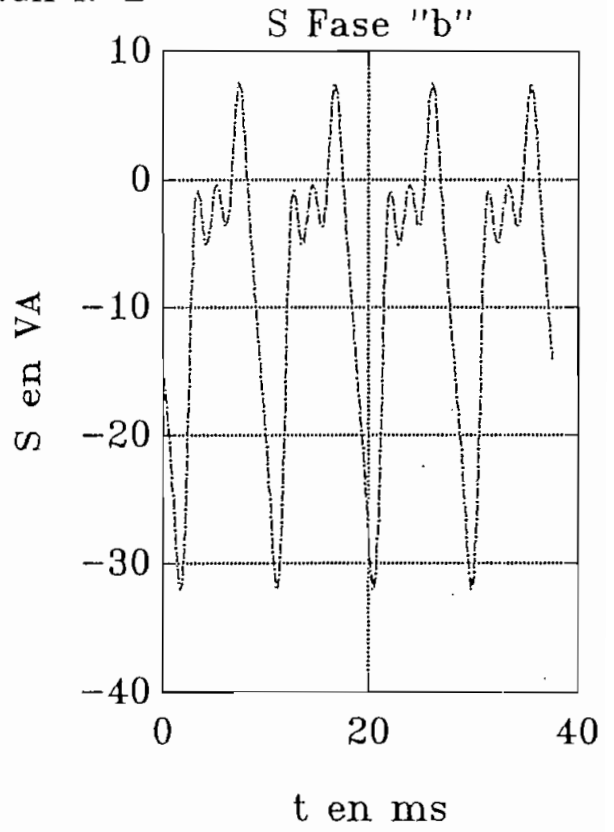
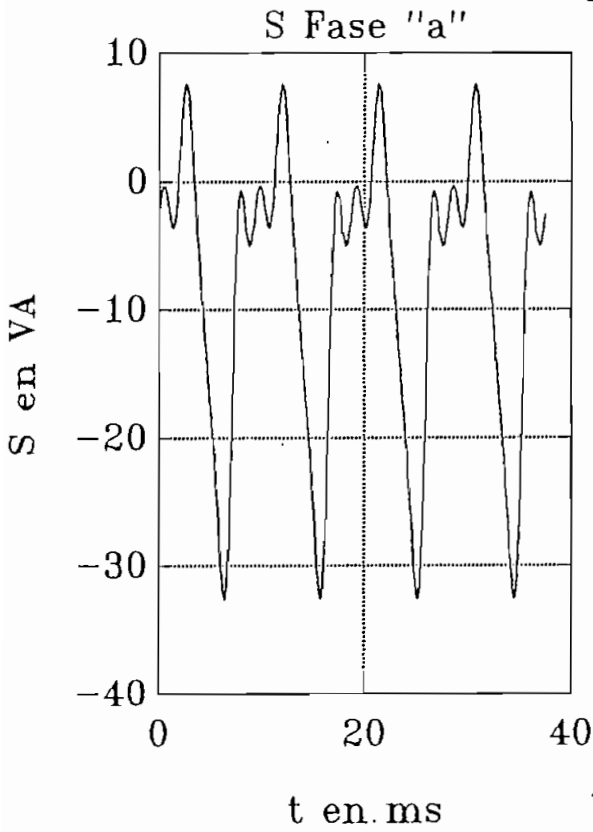
CARGA 2
 $I_f = 4 \text{ A}$
1600 rpm



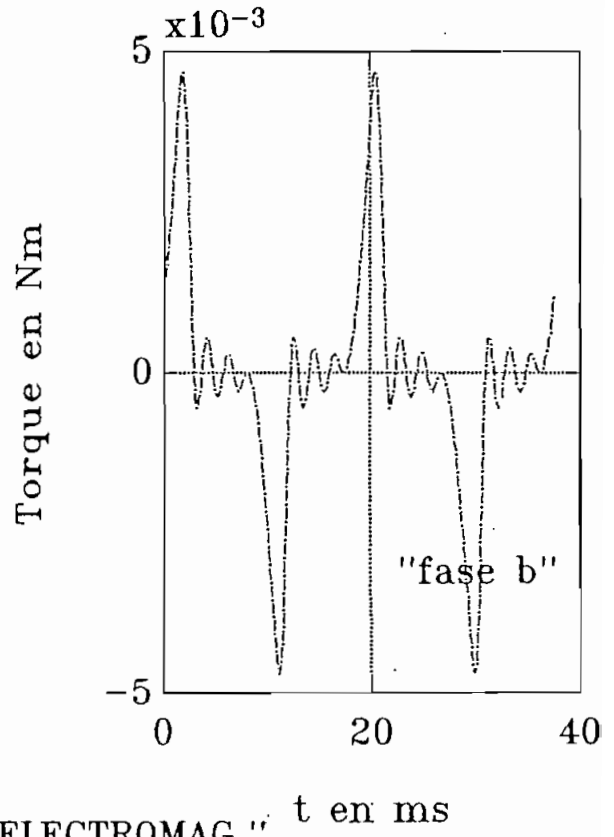
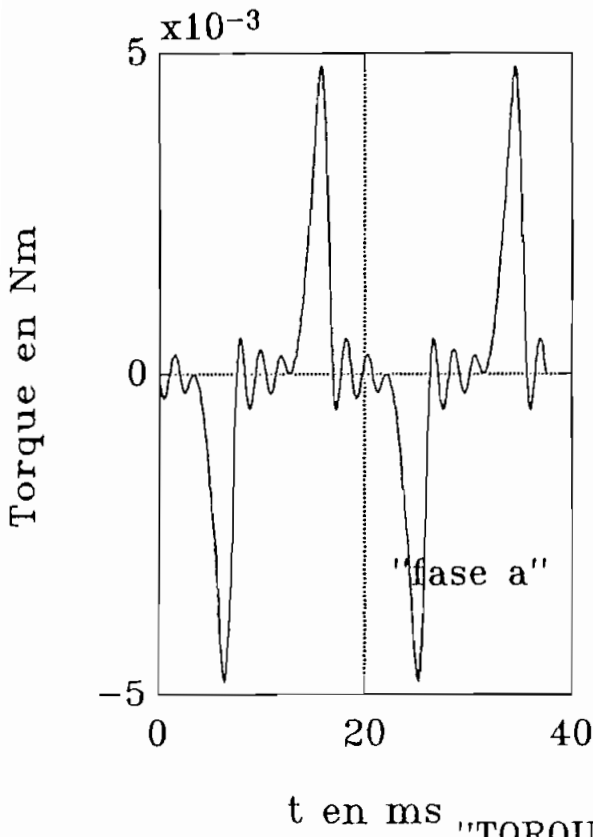
"CARGA R-L"



"CARGA R-L"



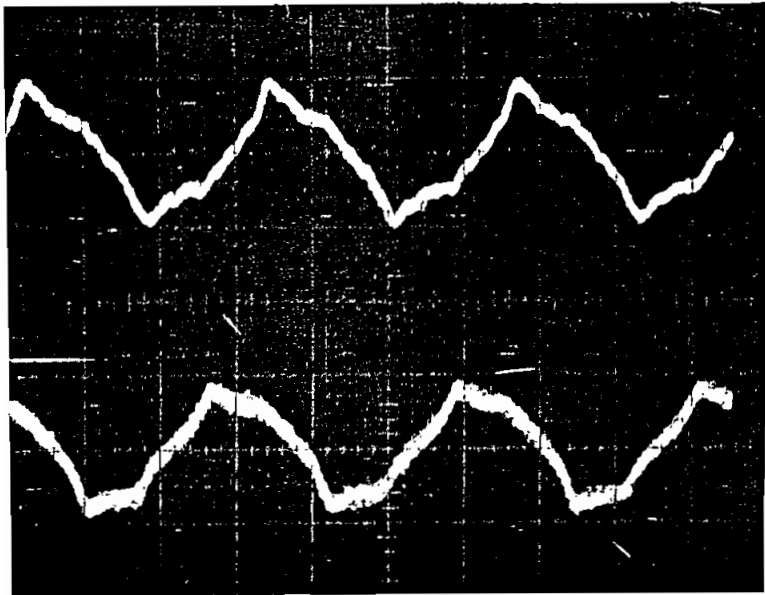
"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG." t en ms

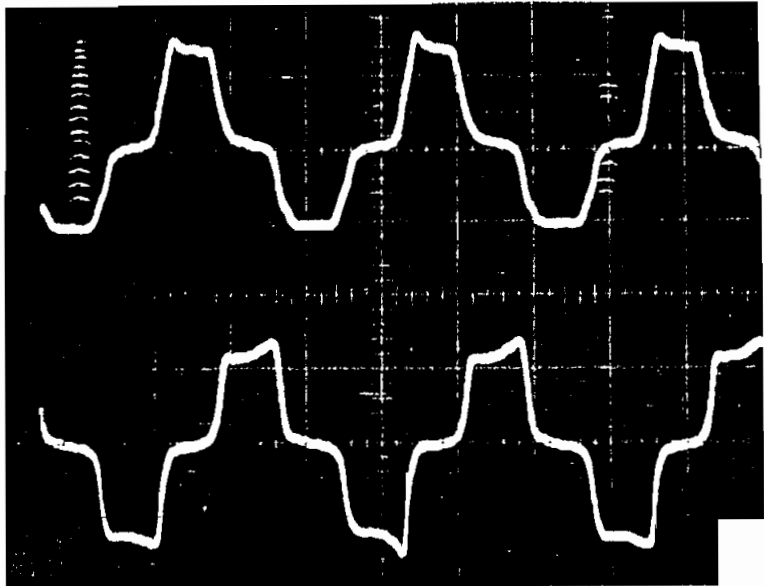
DATOS DE ANALISIS PARA CARGA R - L

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$
 $L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$
 $L_o = 0.06795 \text{ H.}$
 $r_s = 10.5 \ \Omega.$
 $I_f = 2.3 \text{ A.}$
 velocidad del rotor = 1780 r.p.m.
 número de polos = 2
 frecuencia de salida = 59.33 Hz.
 $R_{carga} = 120 \ \Omega.$
 $L_{carga} = 0.5 \text{ H.}$
 $f_{pa} = 0.422$
 $f_{pb} = 0.419$



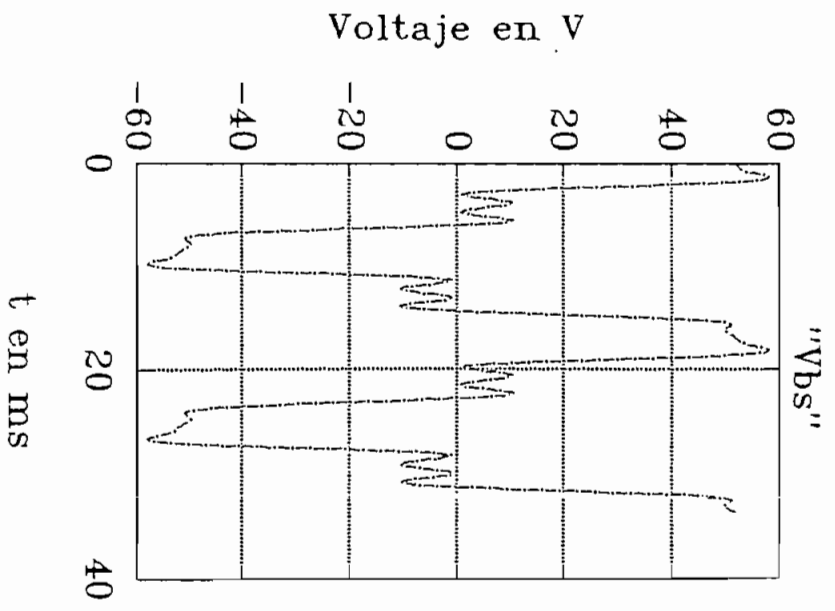
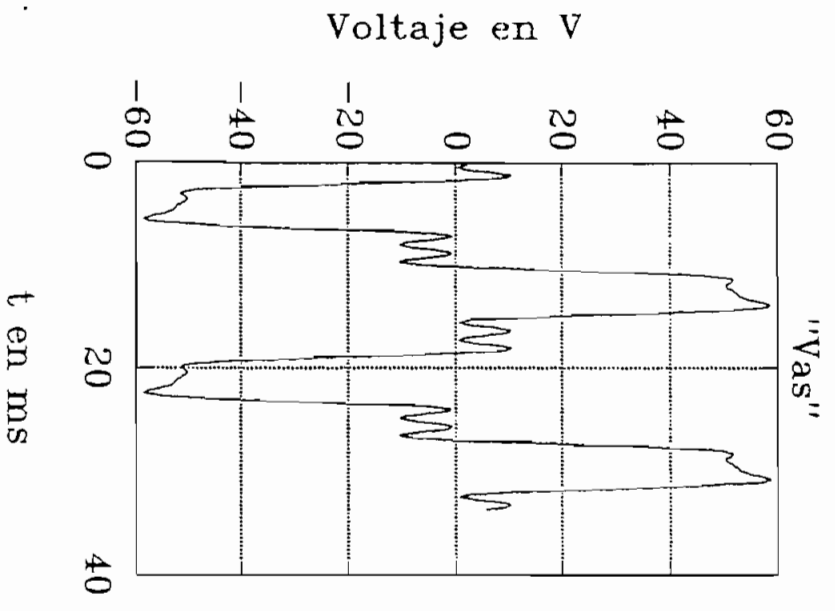
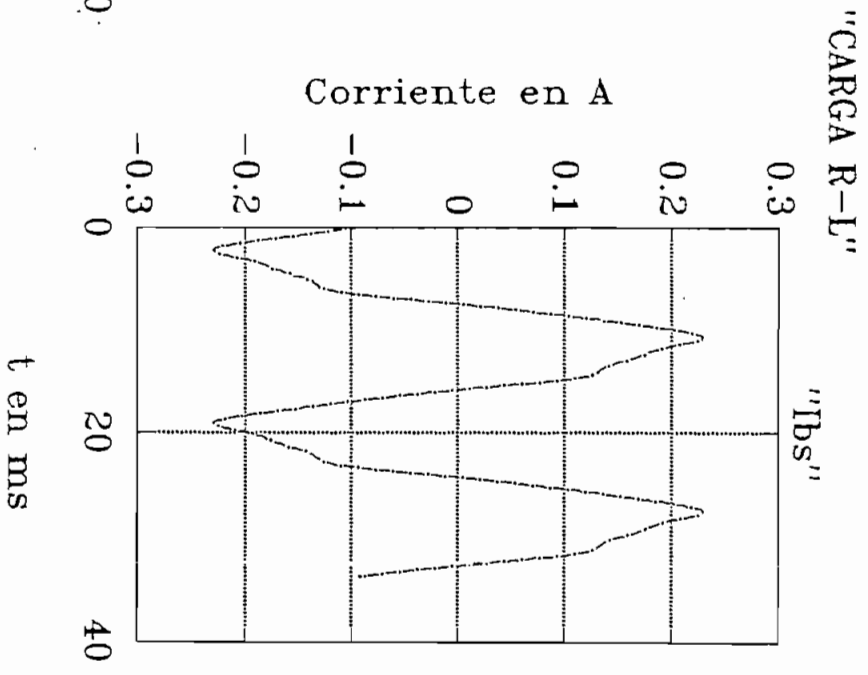
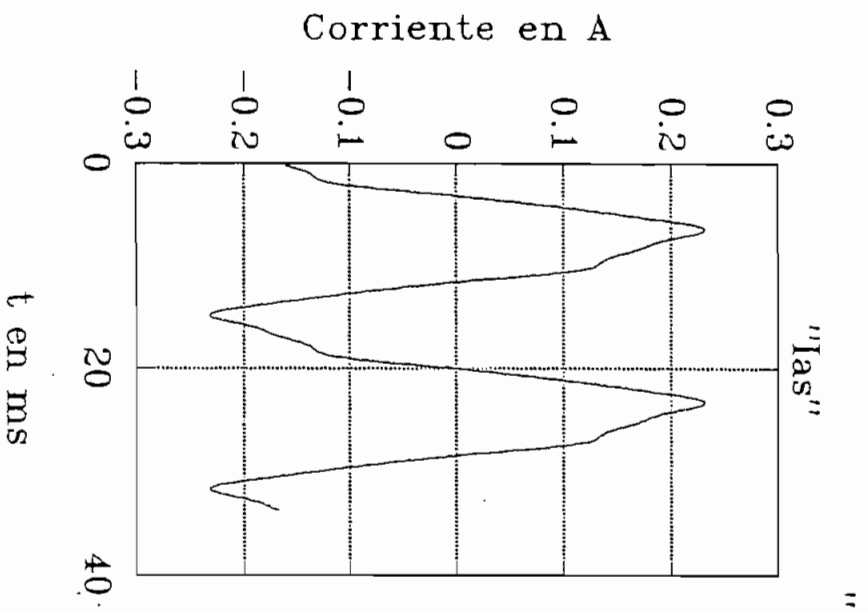
CORRIENTE CARGA RL
 EJE X 5 ms/div
 EJE Y 0.2 A/cm

CARGA 2
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
 1780 rpm

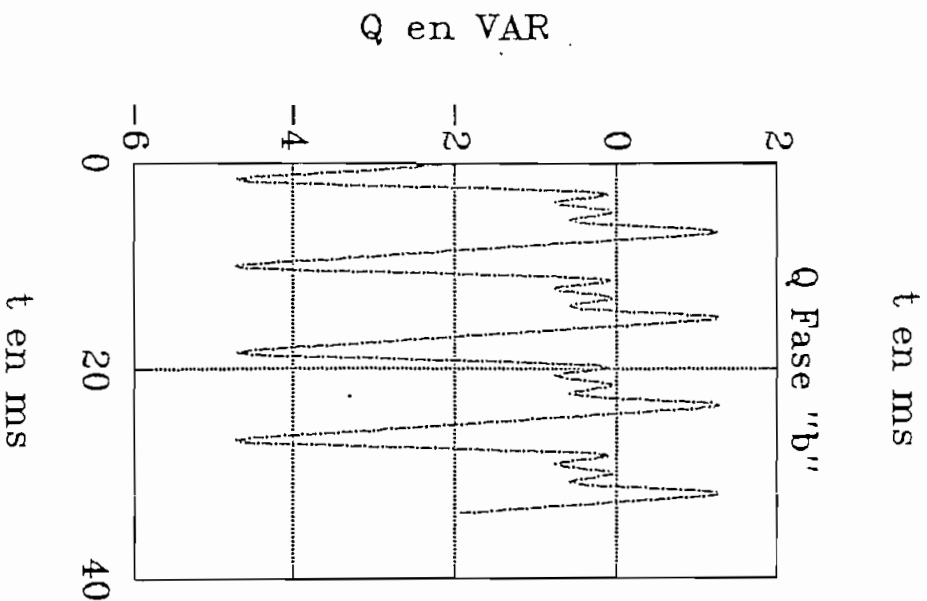
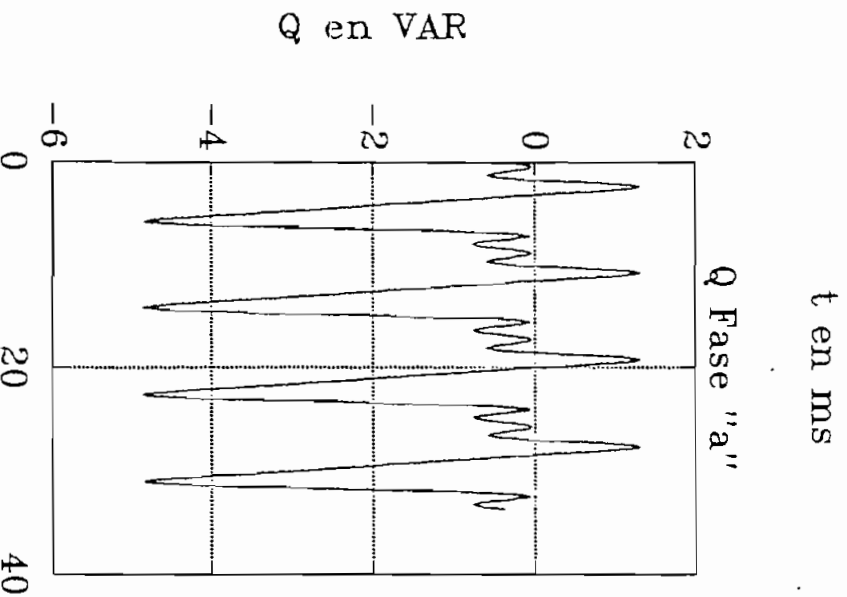
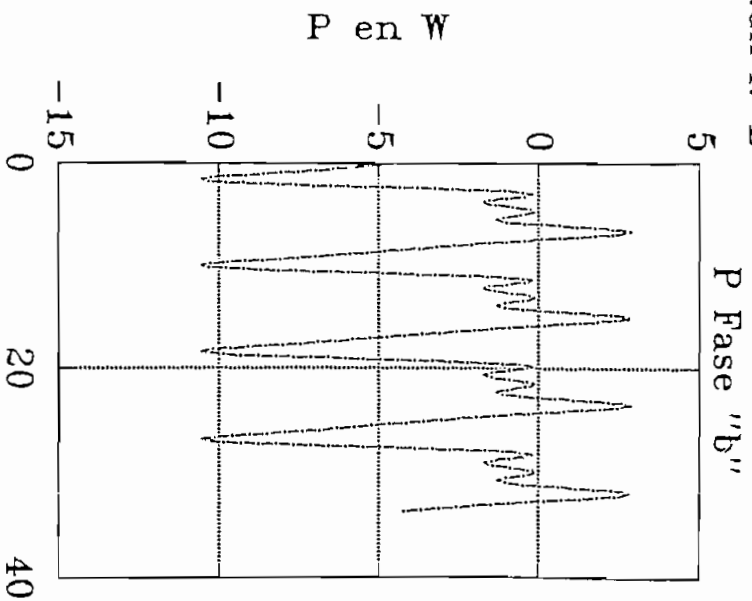
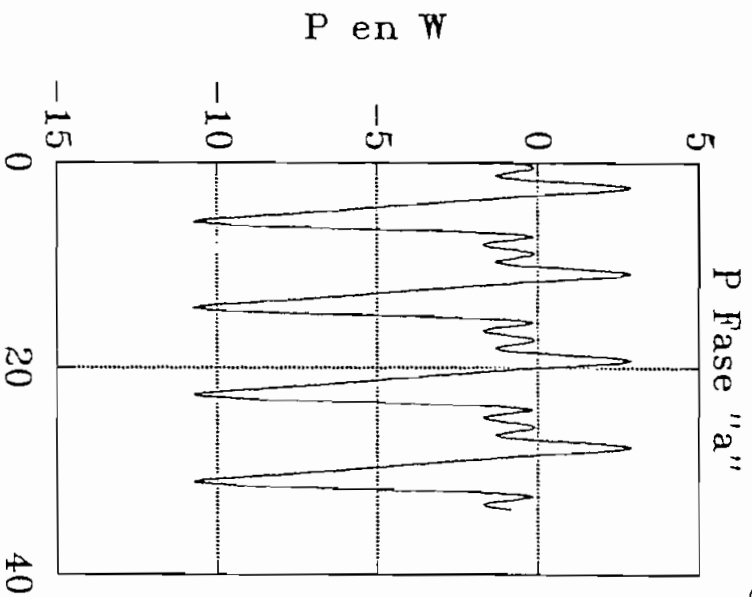


VOLTAJE CARGA RL
 EJE X 5 ms/div
 EJE Y 50 V/cm

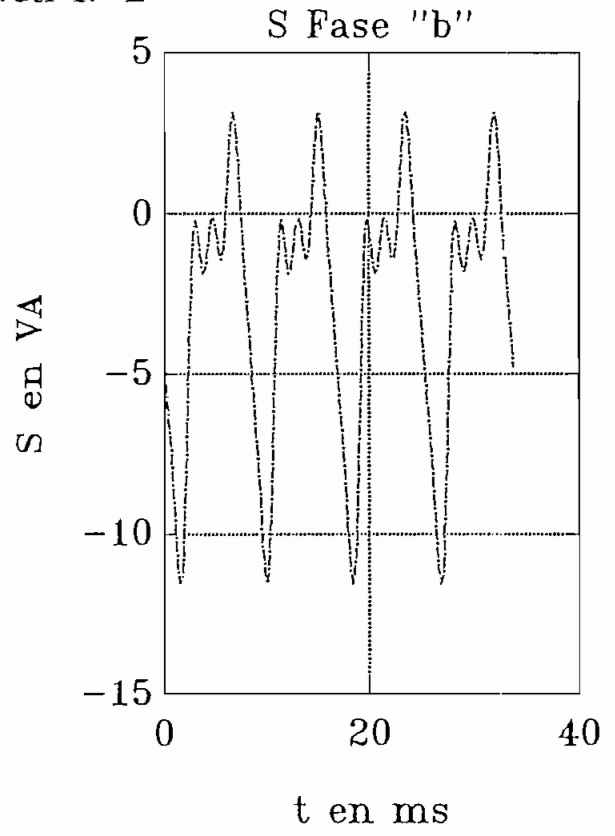
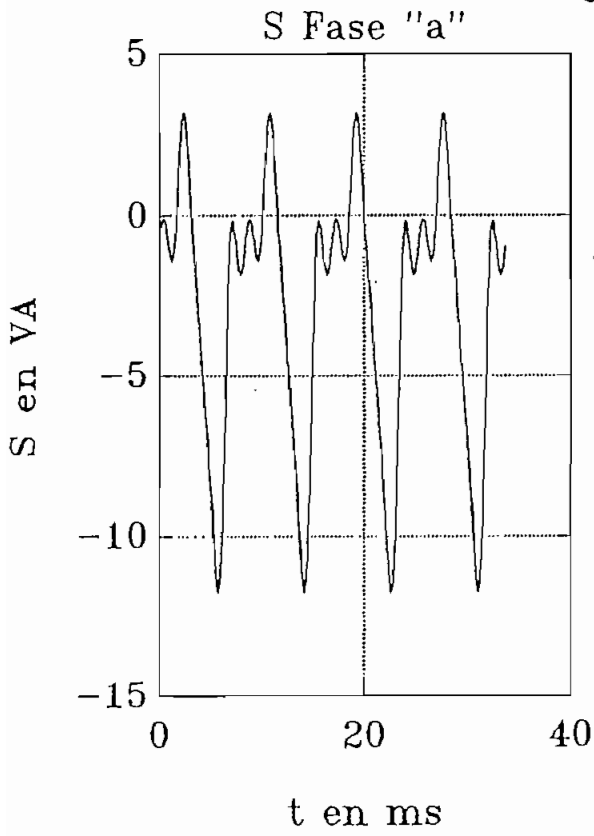
CARGA 2
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
 1780 rpm



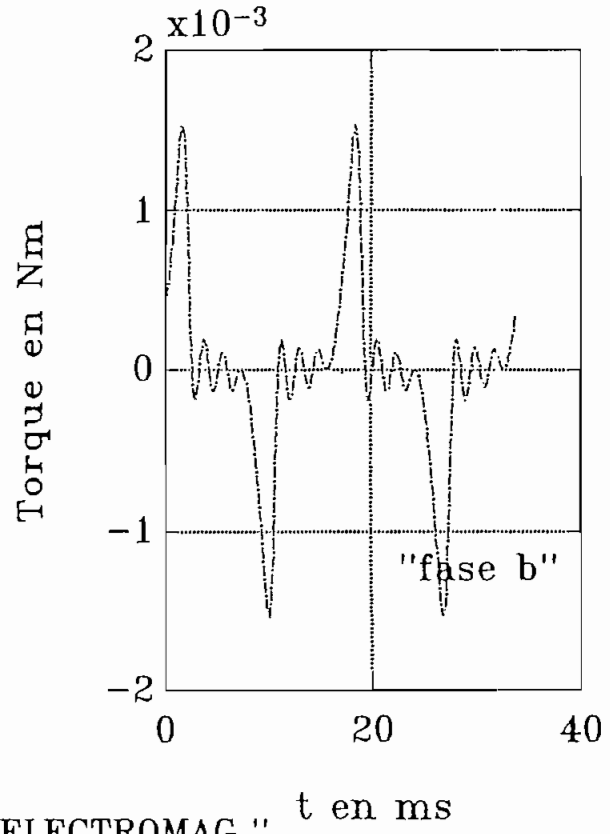
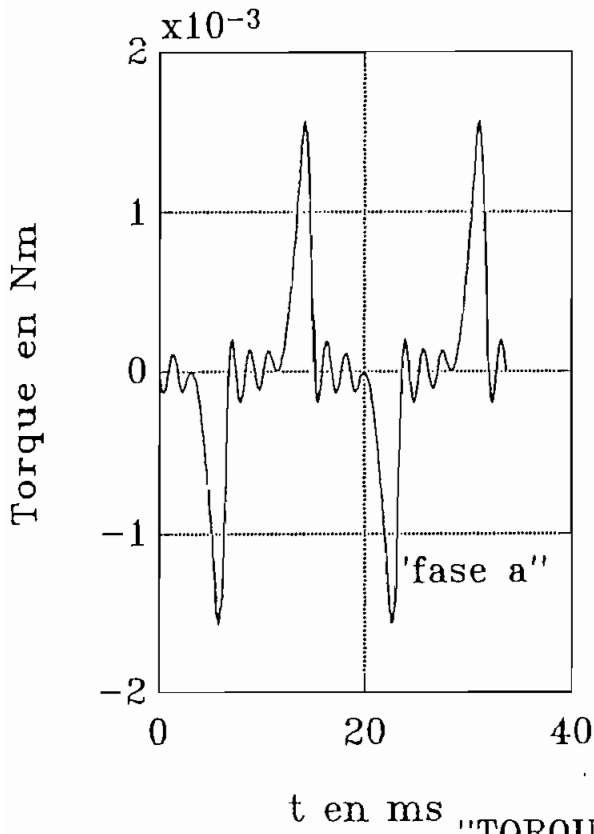
"CARGA R-L"



"CARGA R-L"



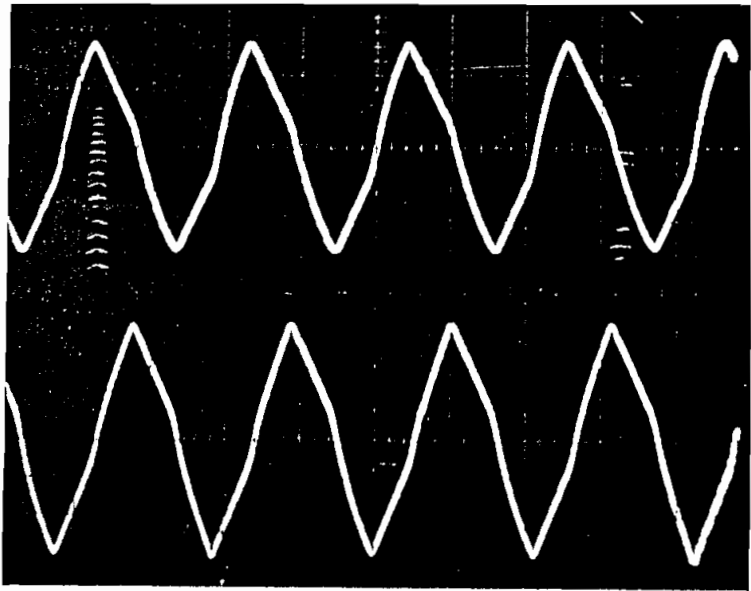
"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

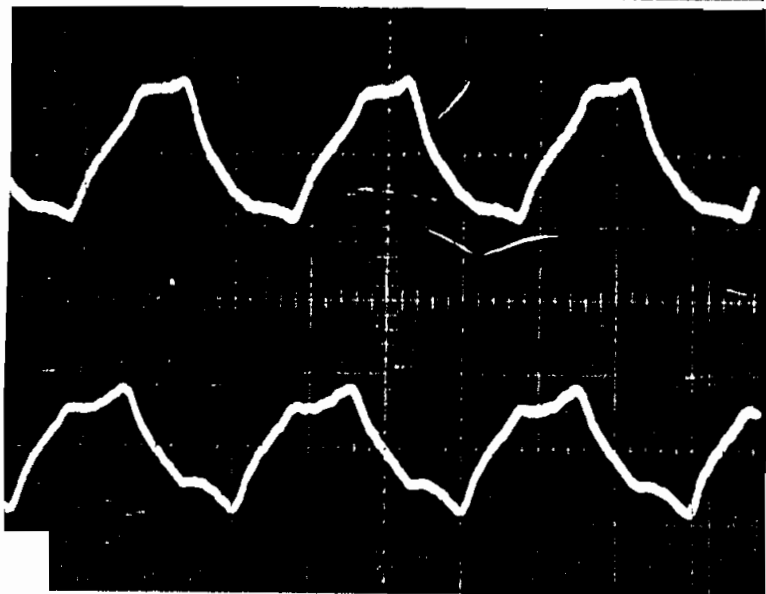
DATOS DE ANALISIS PARA CARGA R - L

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$
 $L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$
 $L_o = 0.06795 \text{ H.}$
 $r_s = 10 \ \Omega.$
 $I_f = 6 \text{ A.}$
 velocidad del rotor = 1060 r.p.m.
 número de polos = 2
 frecuencia de salida = 35.33 Hz.
 $R_{carga} = 60 \ \Omega.$
 $L_{carga} = 0.25 \text{ H.}$
 $f_{pa} = 0.533$
 $f_{pb} = 0.527$



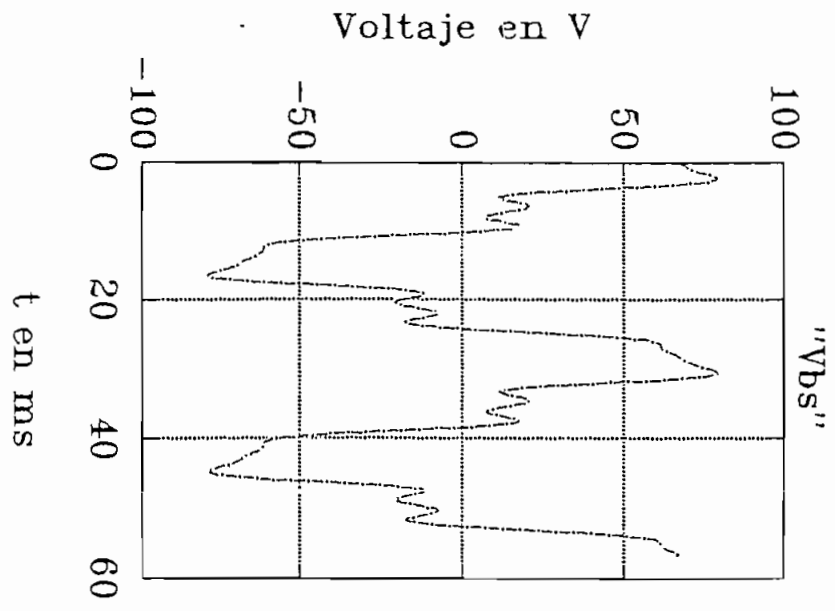
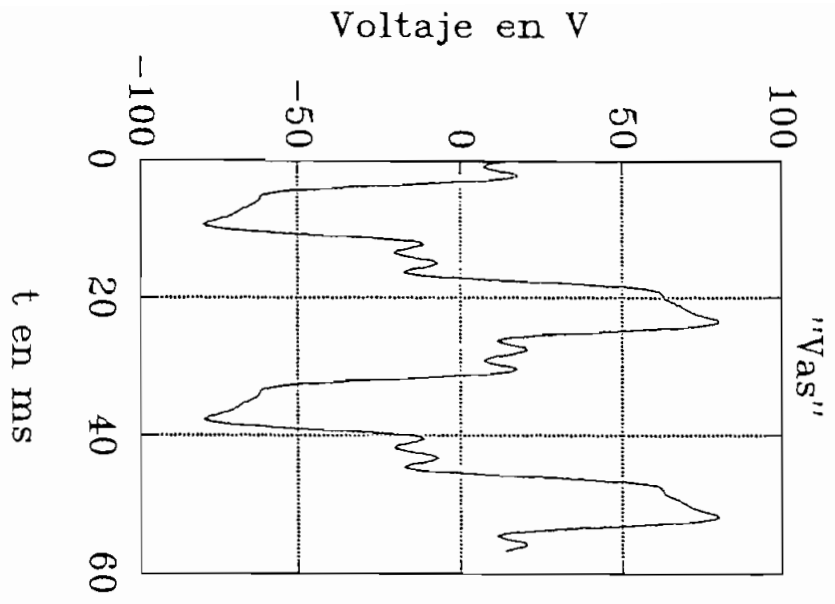
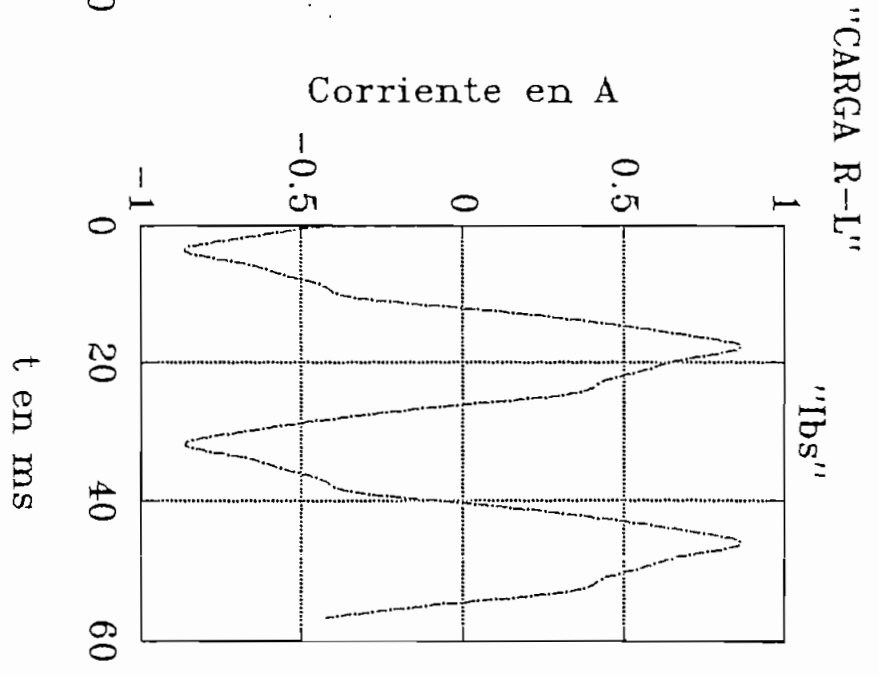
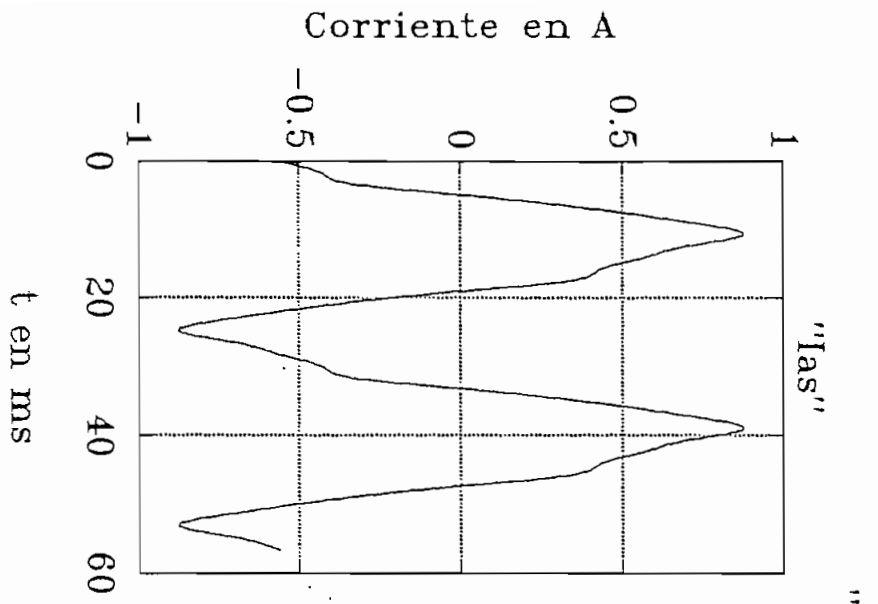
CORRIENTE CARGA RL
 EJE X 10 ms/div
 EJE Y 0.5 A/cm

 CARGA 4
 $I_f = 6 \text{ A}$
 1060 rpm

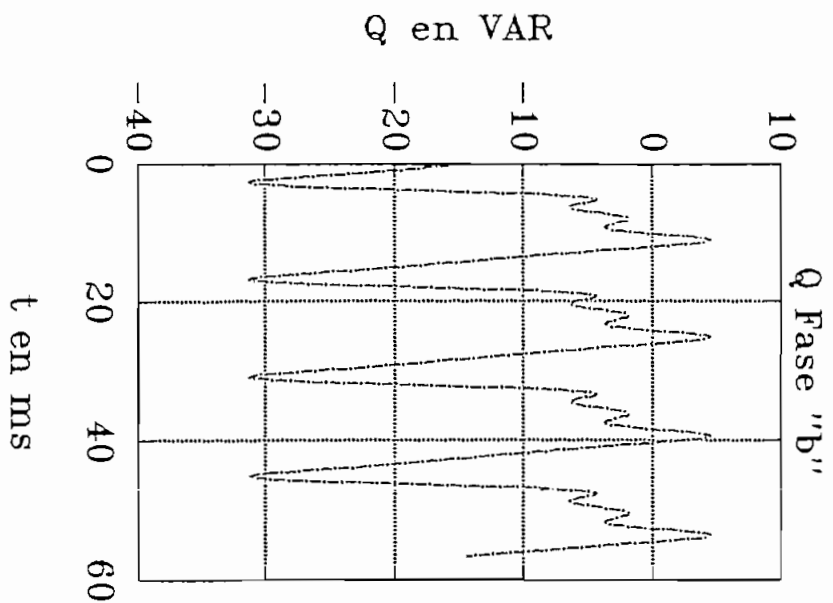
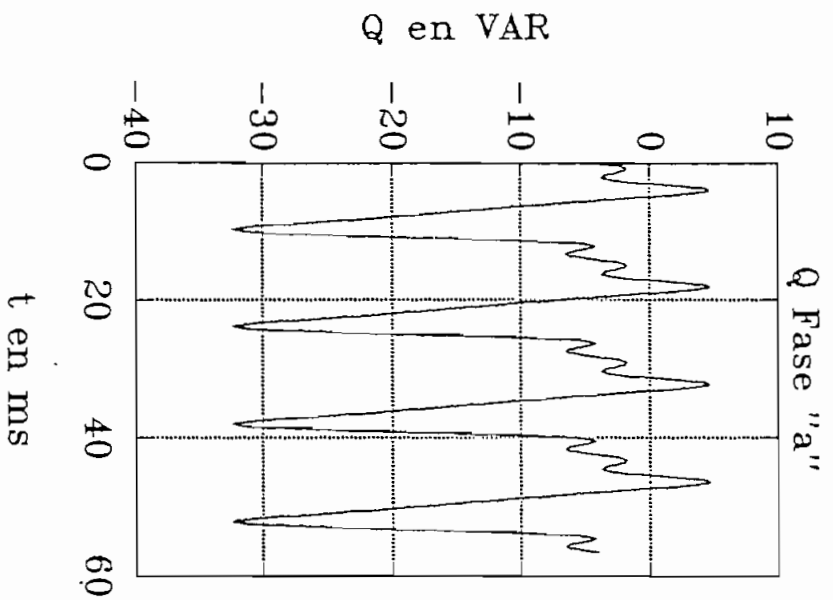
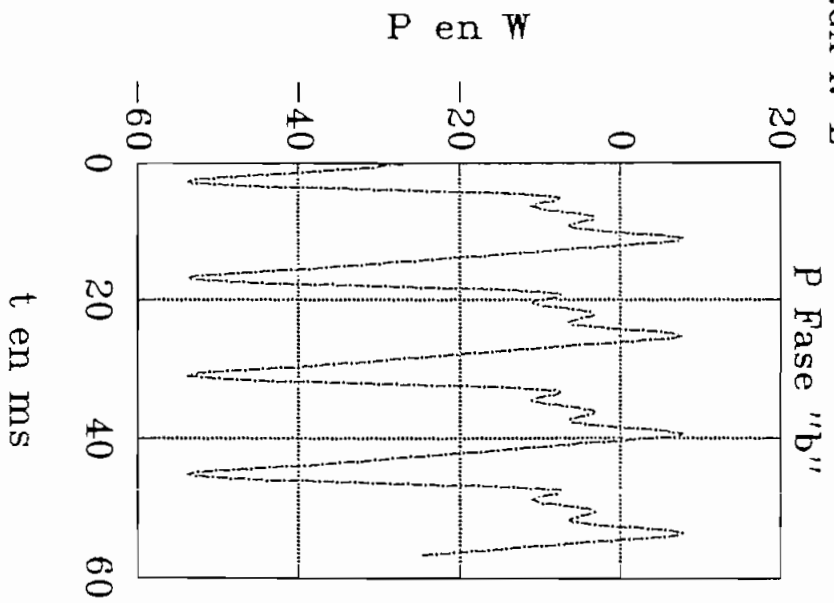
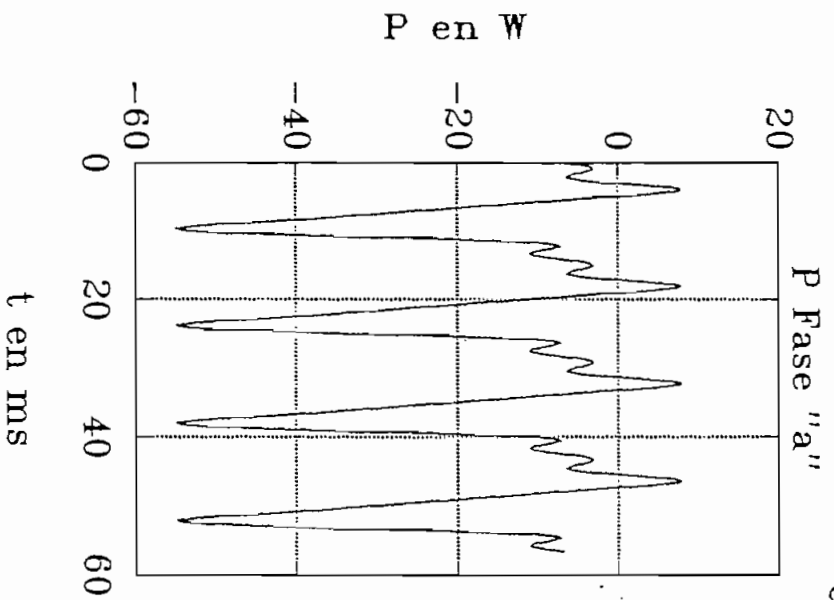


VOLTAJE CARGA RL
 EJE X 10 ms/div
 EJE Y 50 V/cm

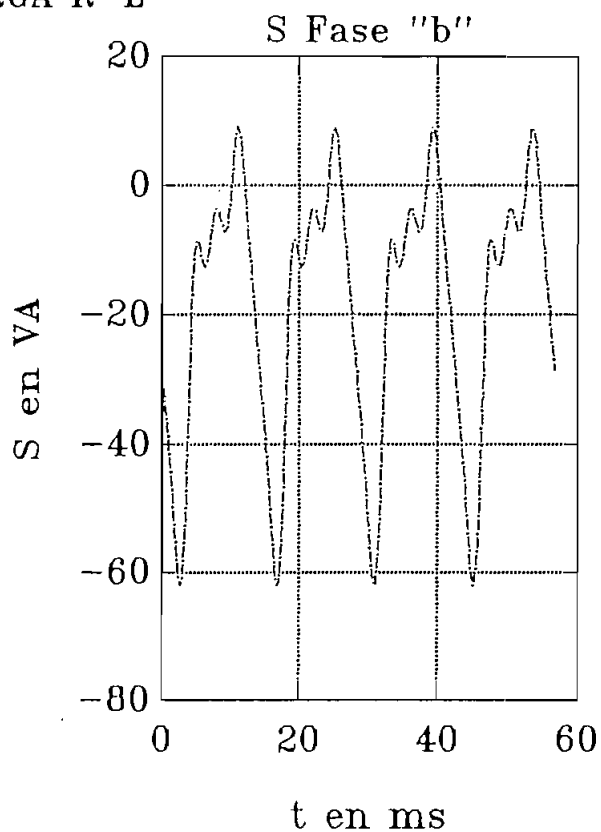
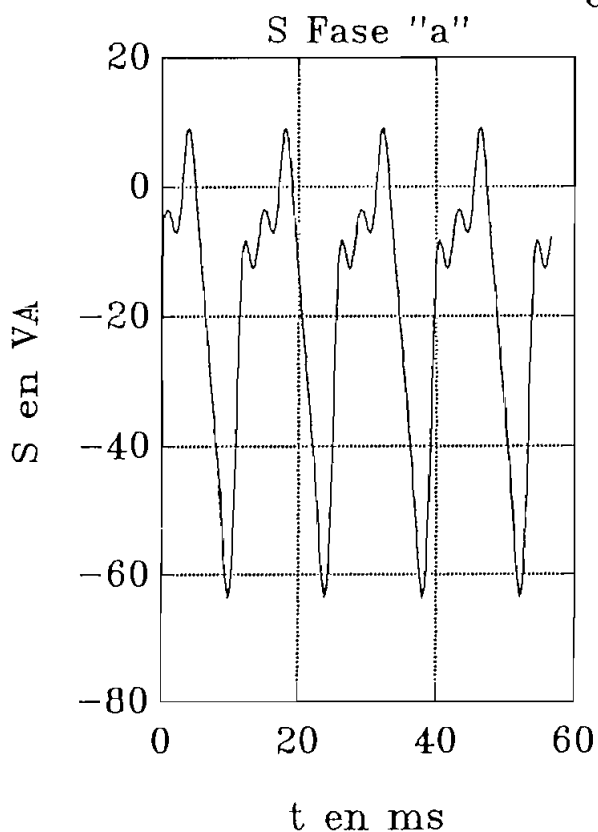
 CARGA 4
 $I_f = 6 \text{ A}$
 1060 rpm



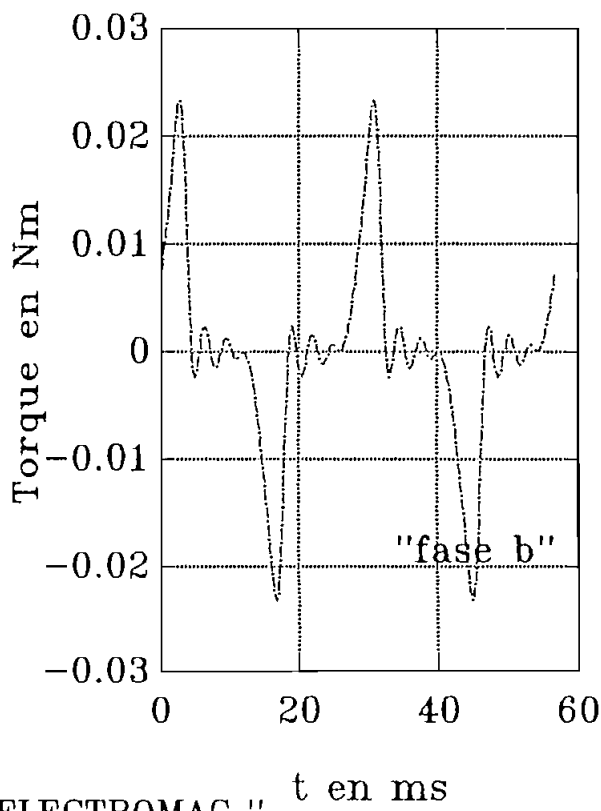
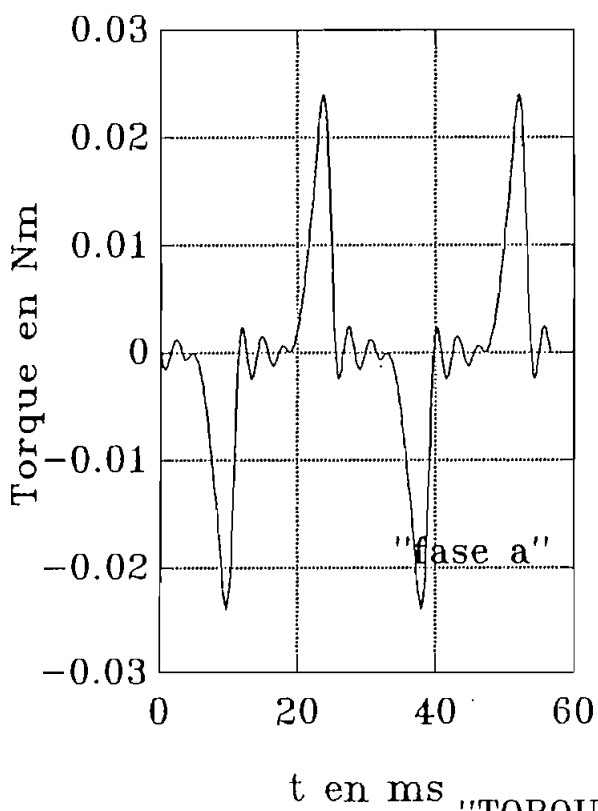
"CARGA R-L"



"CARGA R-L"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA R - C

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \ \Omega.$

$I_f = 2.3 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1400 r.p.m.

número de polos = 2

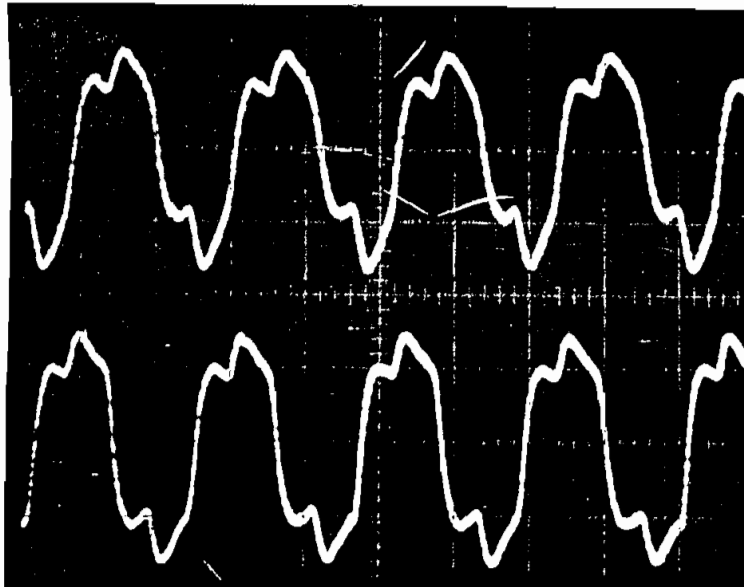
frecuencia de salida = 46.67 Hz.

$R_{carga} = 60 \ \Omega.$

$C_{carga} = 40 \ \mu\text{F.}$

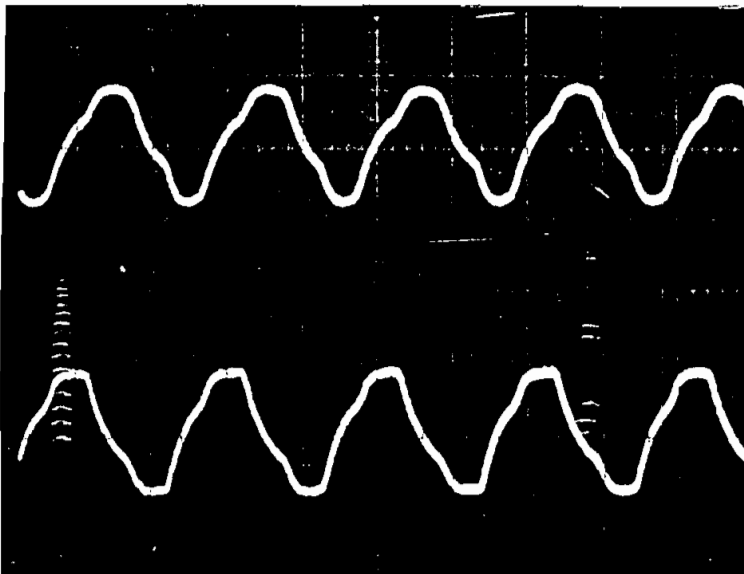
$f_{pa} = -0.987$

$f_{pb} = -0.991$



CORRIENTE CARGA RC
EJE X 10 ms/div
EJE Y 0.5 A/cm

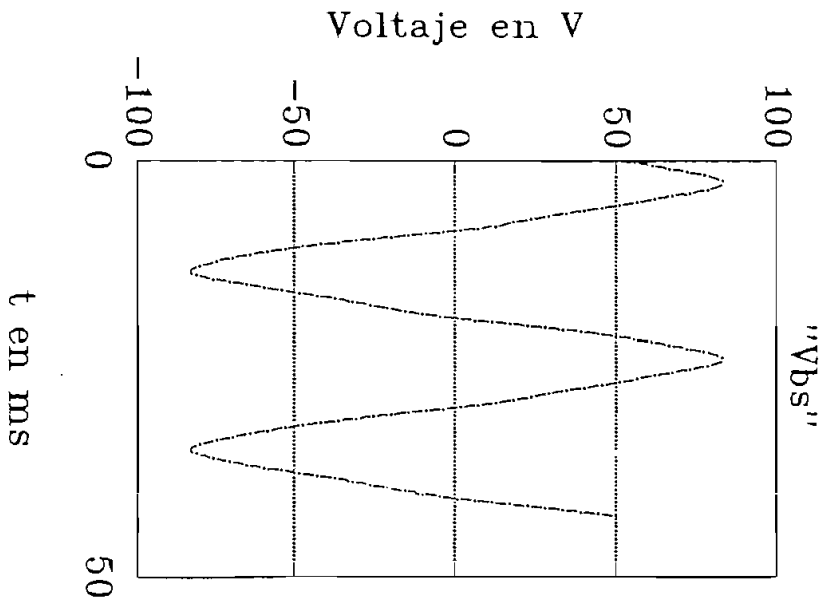
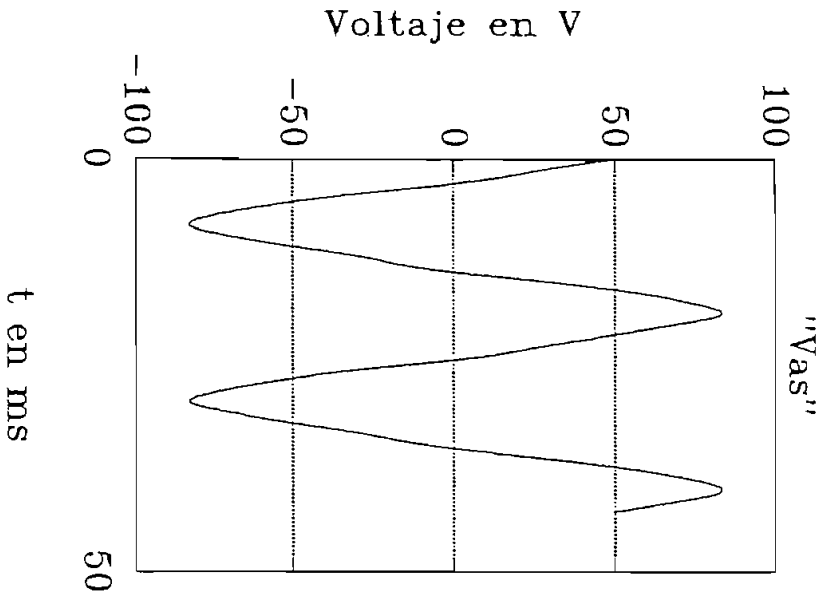
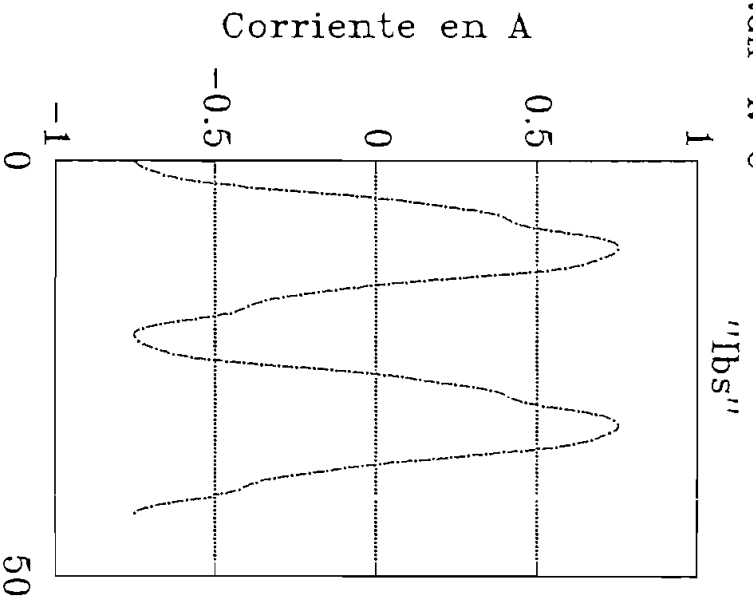
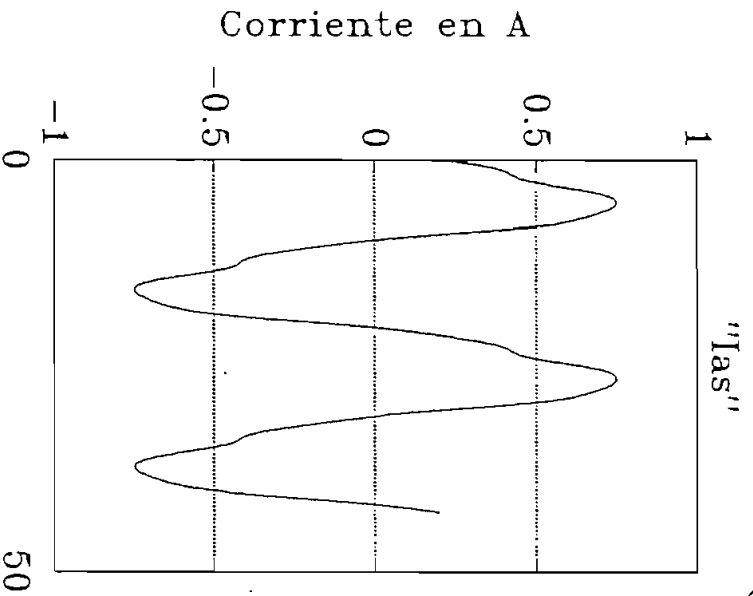
CARGA 4
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
1400 rpm



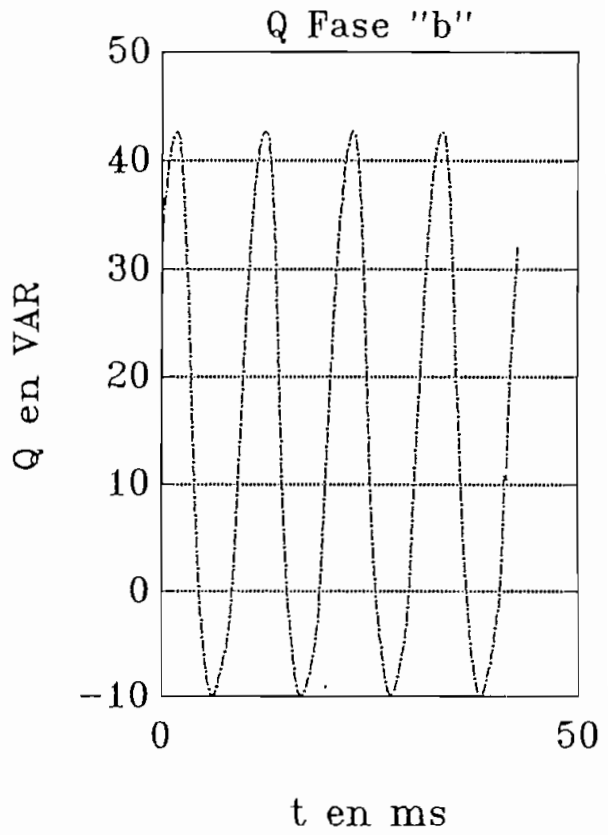
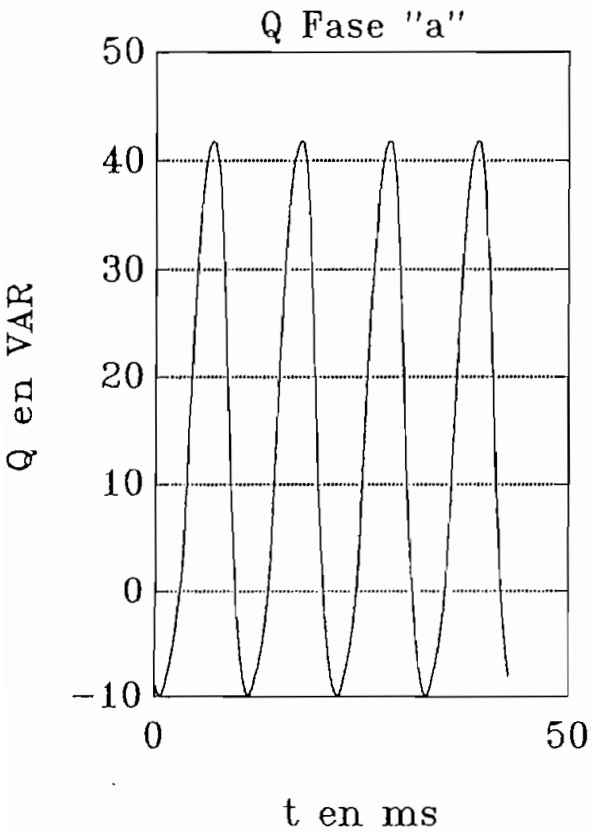
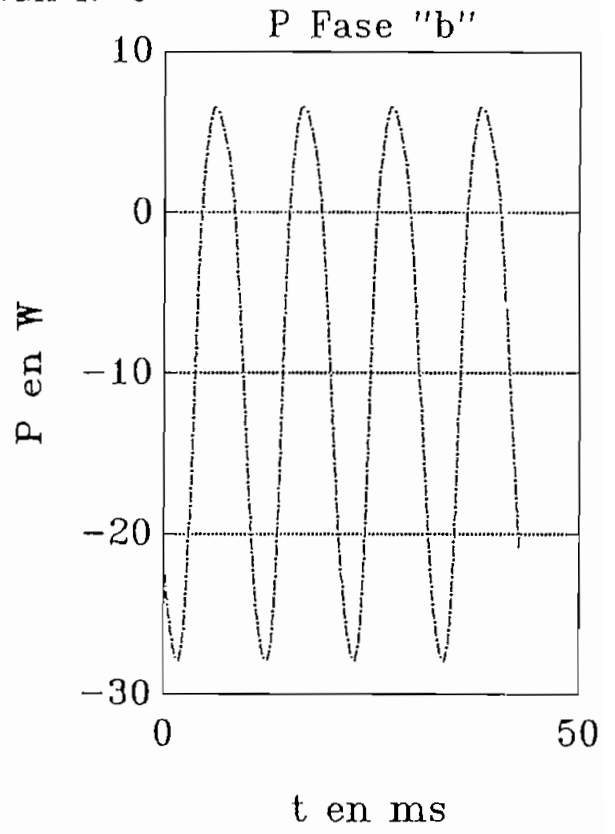
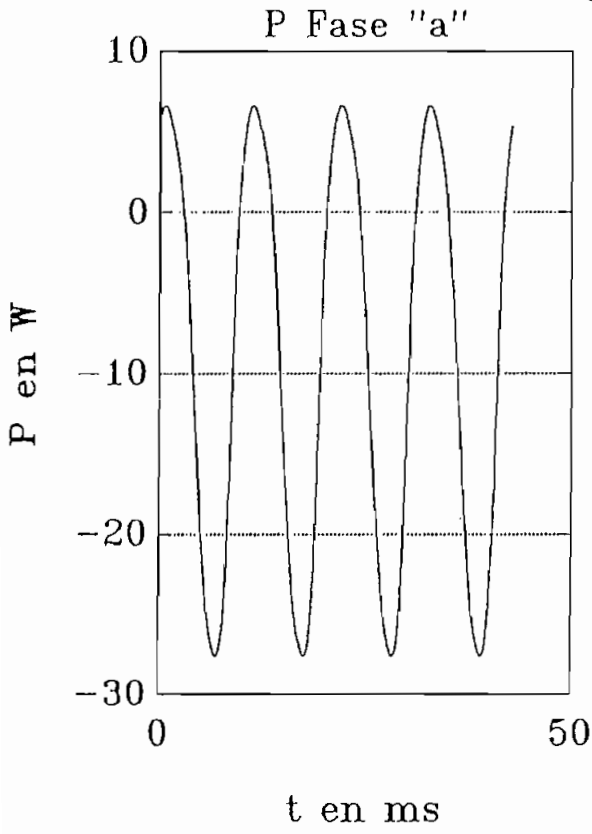
VOLTAJE CARGA RC
EJE X 10 ms/div
EJE Y 50 V/cm

CARGA 4
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
1400 rpm

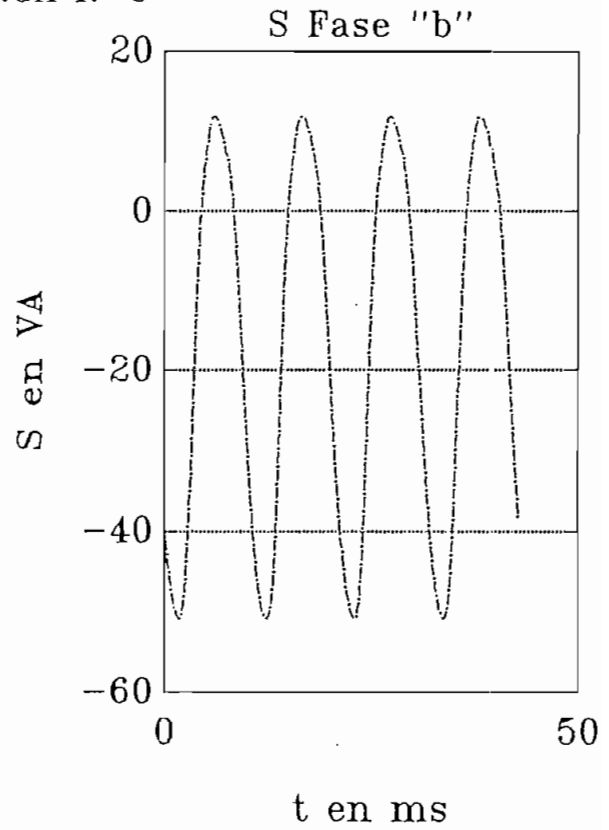
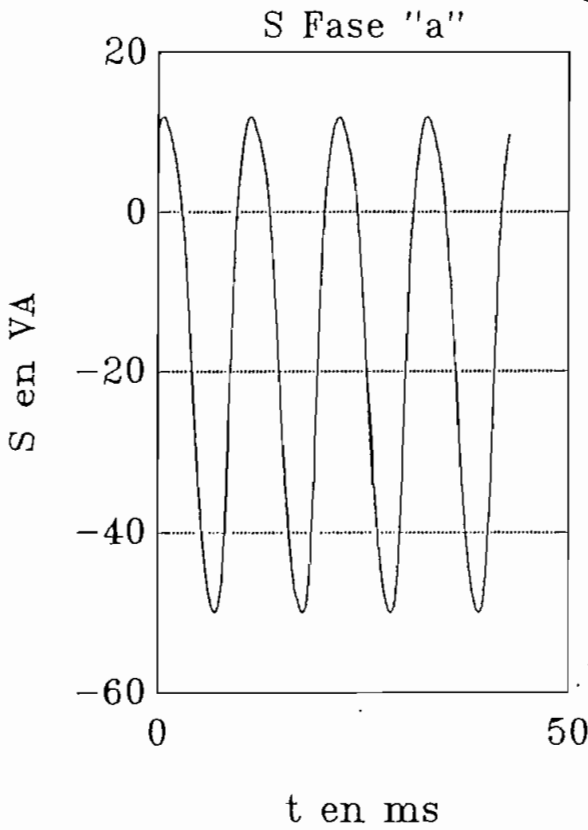
CARGA "R-C"



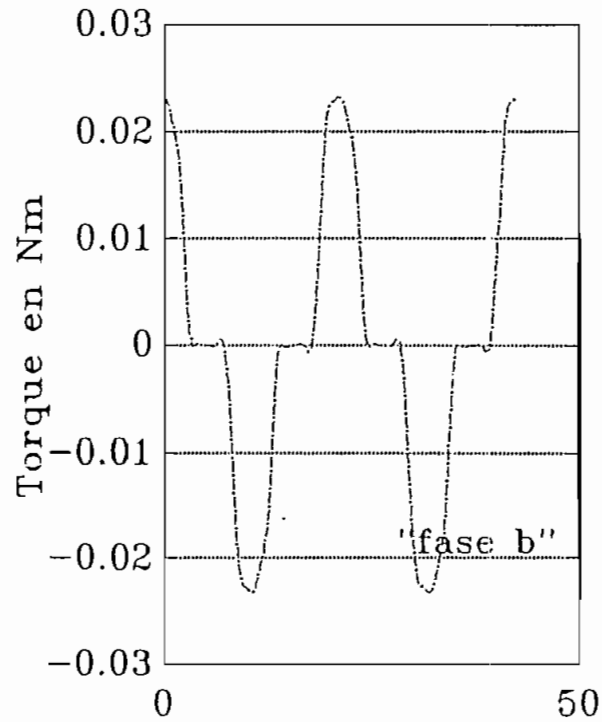
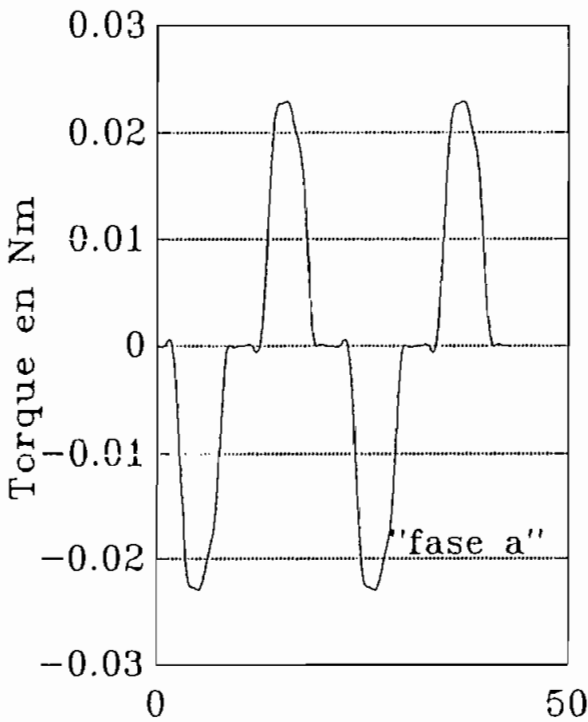
"CARGA R-C"



"CARGA R-C"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG." t en ms

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA R - C

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \ \Omega.$

$I_f = 4 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1300 r.p.m.

número de polos = 2

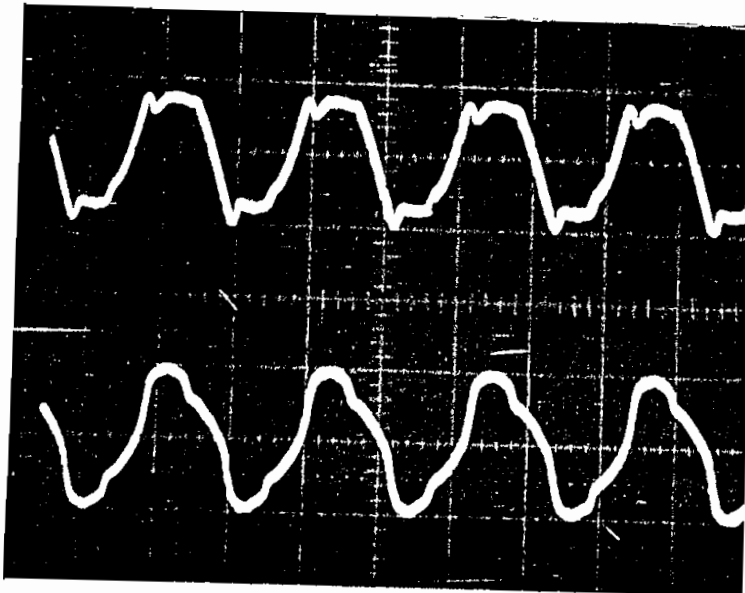
frecuencia de salida = 43.33 Hz.

$R_{carga} = 120 \ \Omega.$

$C_{carga} = 20 \ \mu\text{F.}$

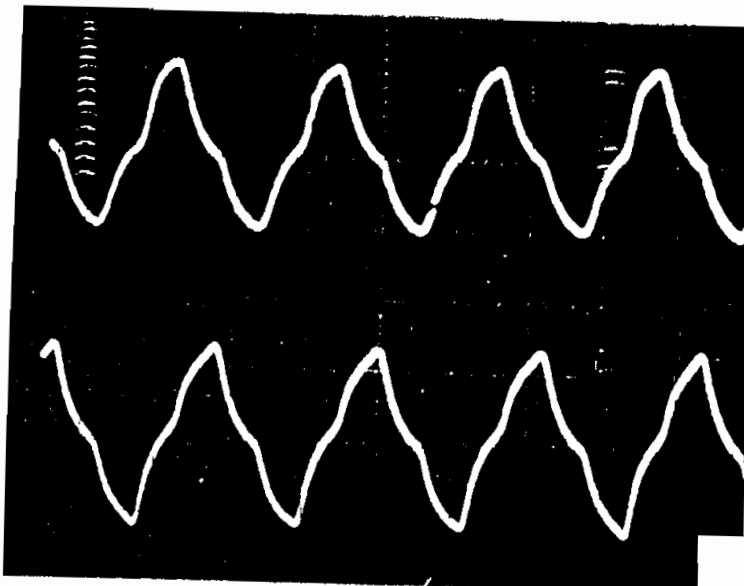
$f_{pa} = -0.749$

$f_{pb} = -0.756$



CORRIENTE CARGA RC
EJE X 10 ms/div
EJE Y 0.5 A/cm

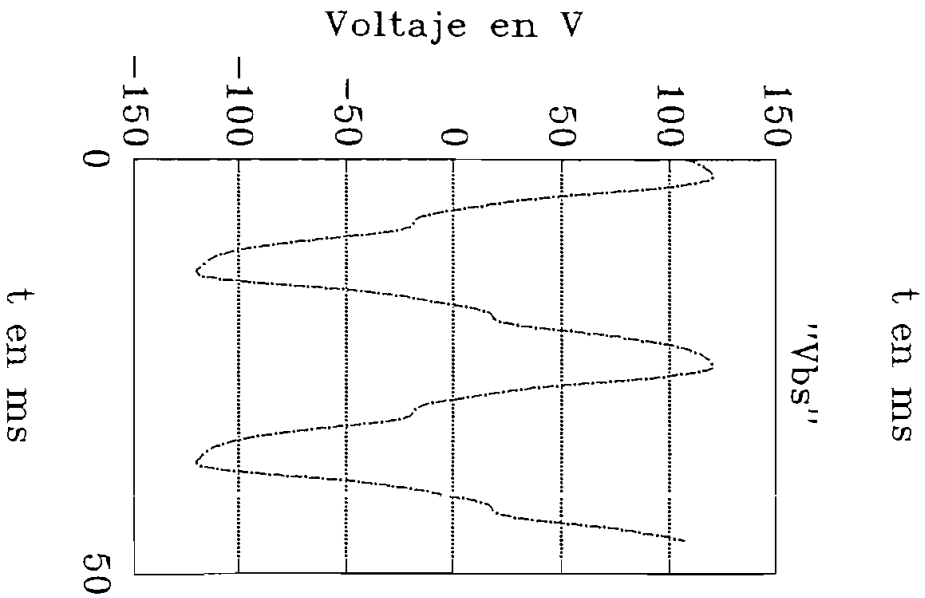
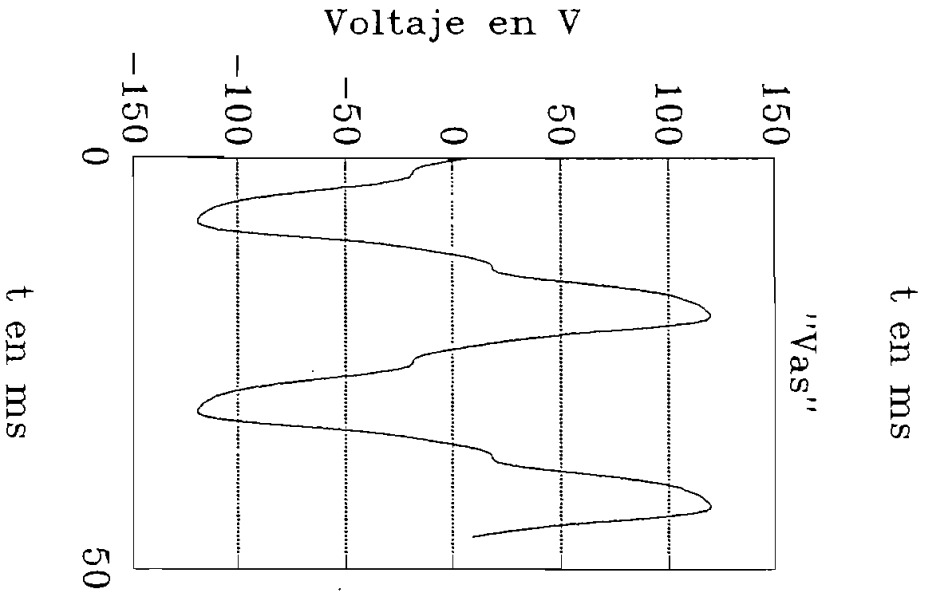
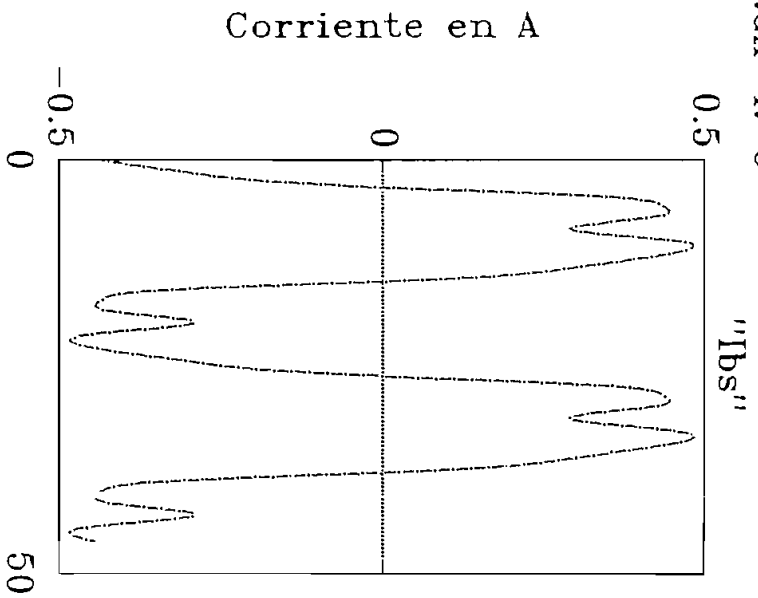
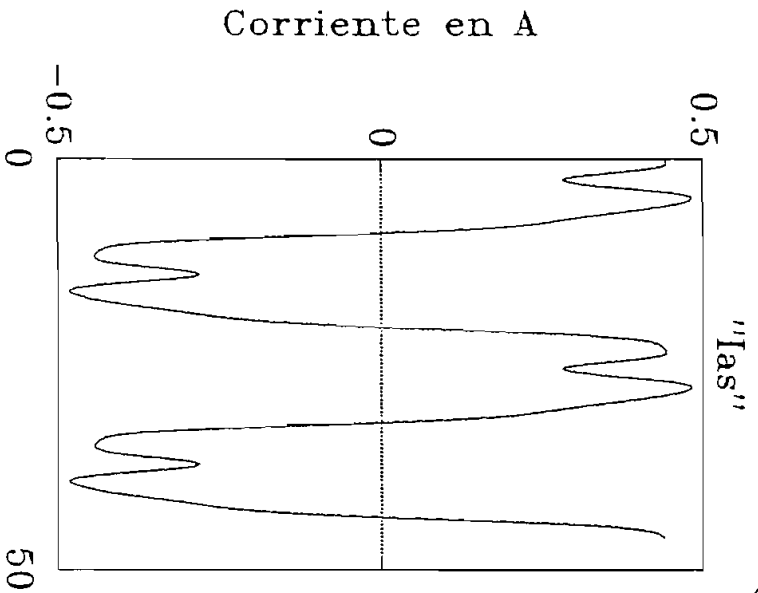
CARGA 2
 $I_f = 4 \text{ A}$
1300 rpm



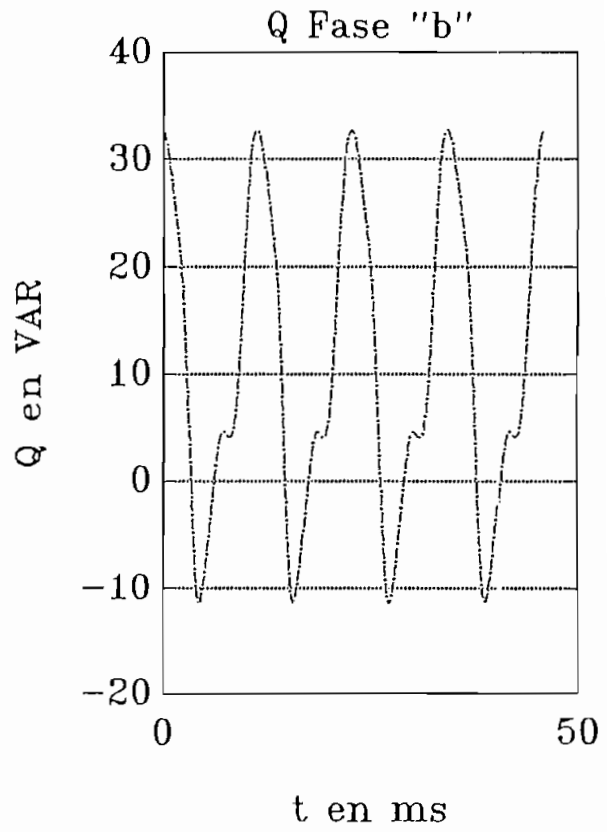
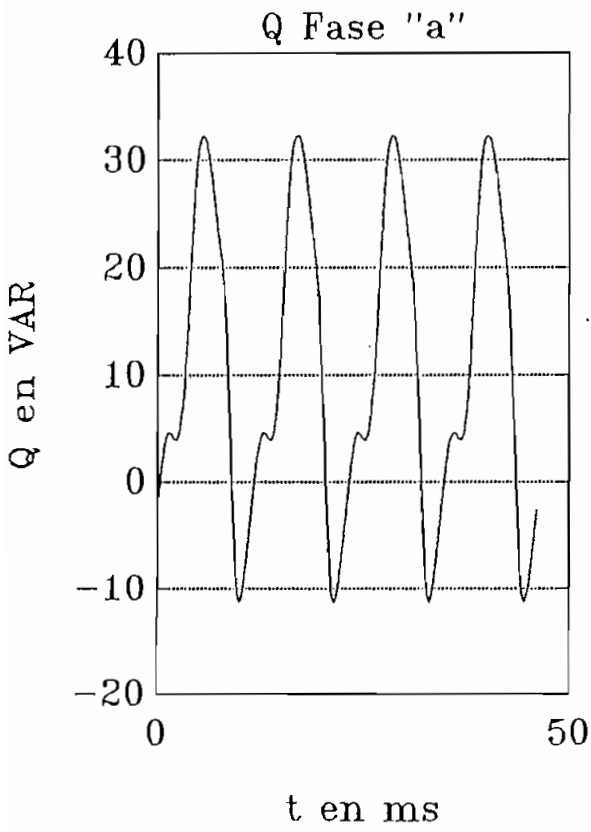
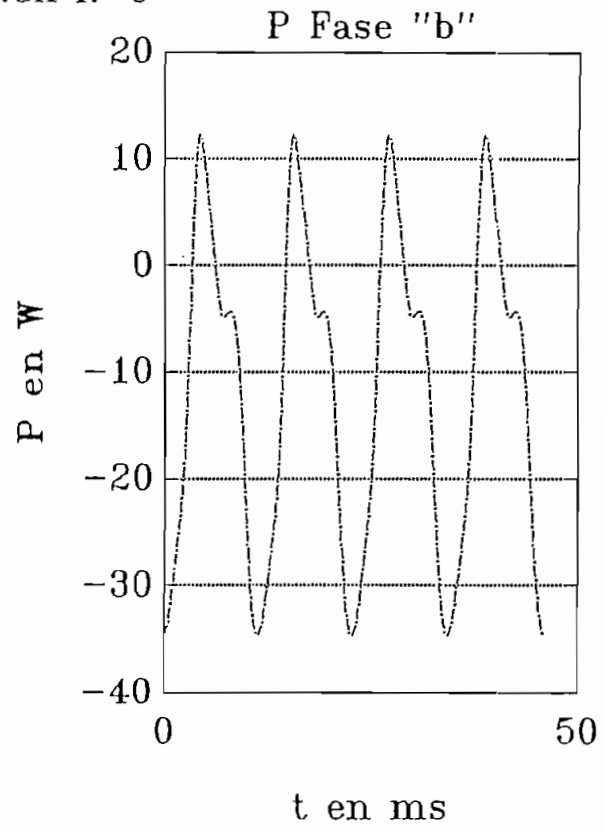
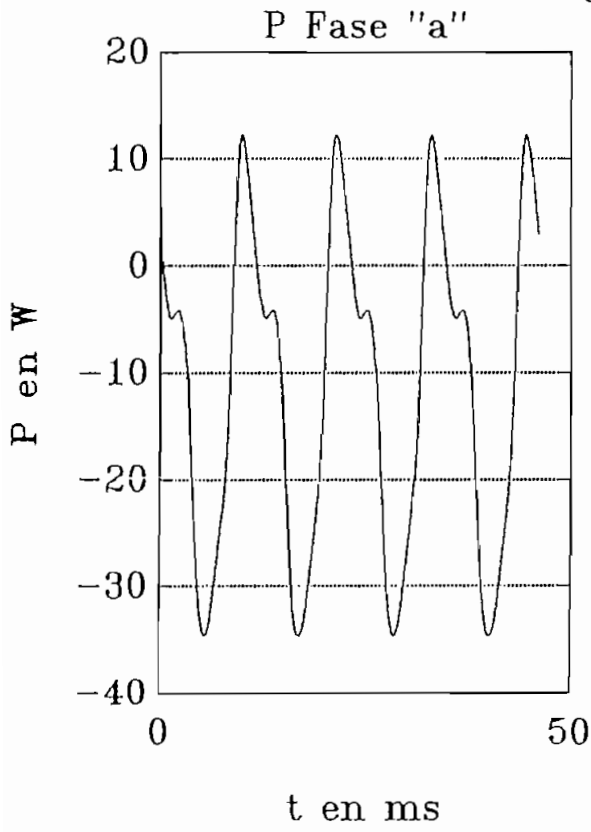
VOLTAJE CARGA RC
EJE X 10 ms/div
EJE Y 100 V/cm

CARGA 2
 $I_f = 4 \text{ A}$
1300 rpm

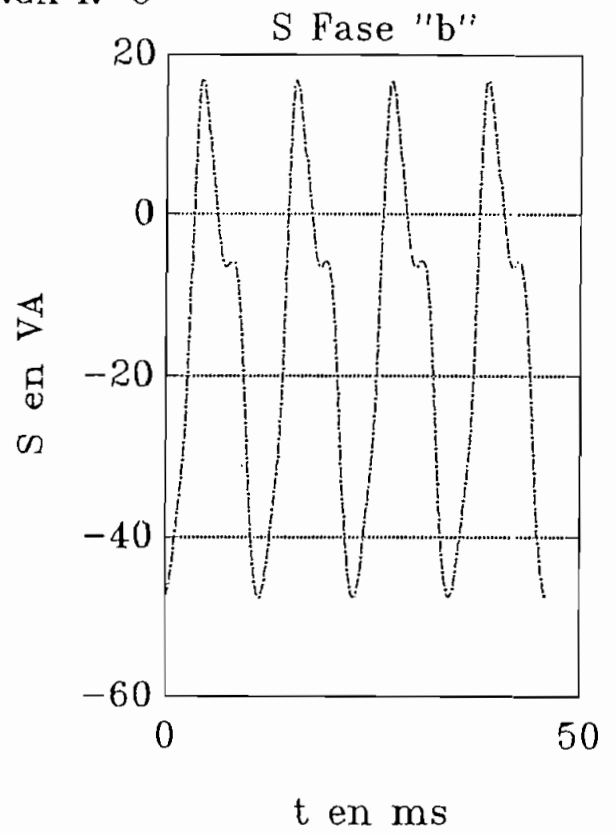
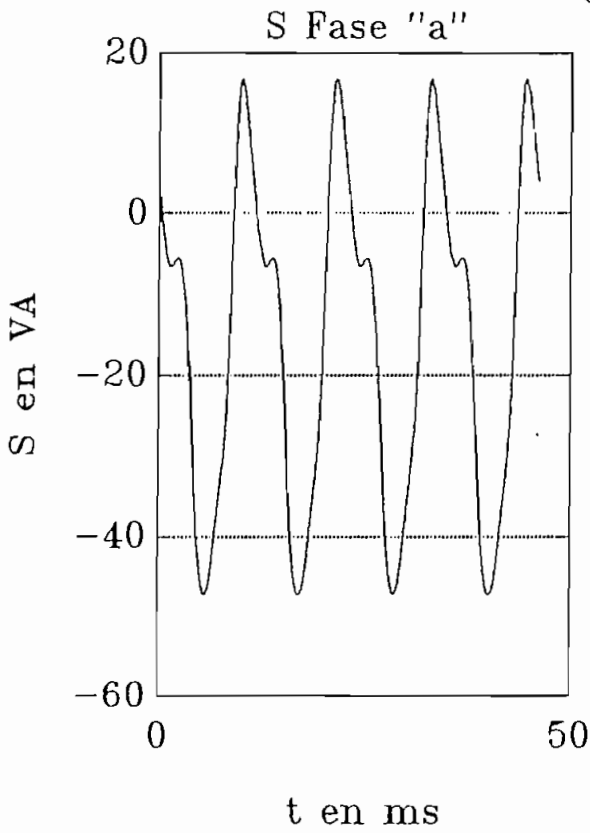
CARGA "R-C"



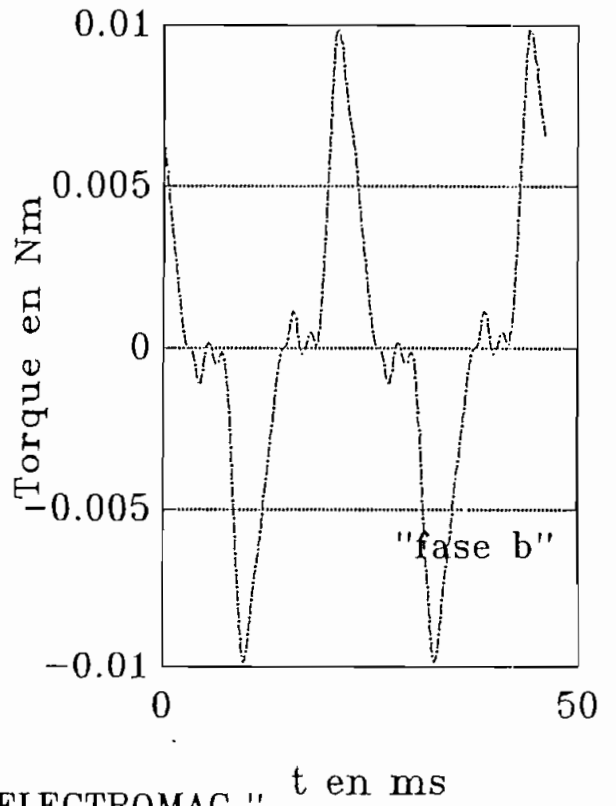
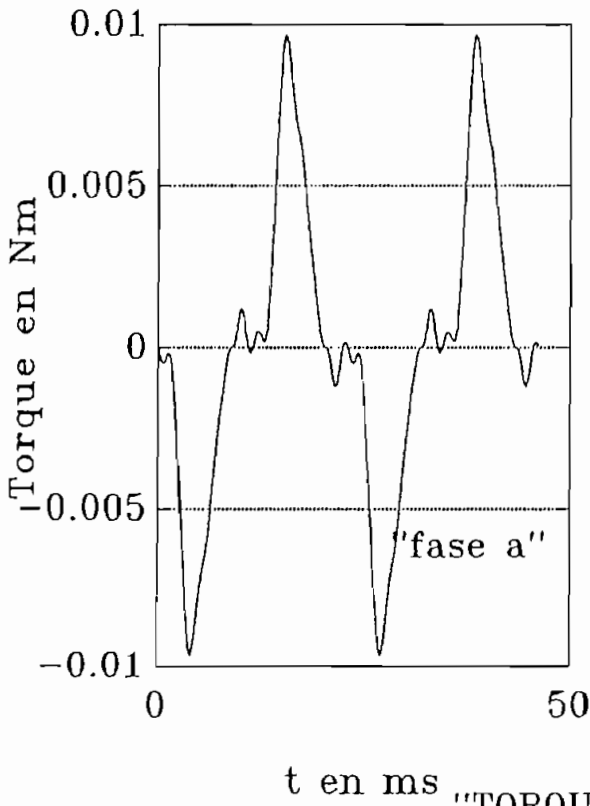
"CARGA R-C"



"CARGA R-C"



"POTENCIA APARENTE"



DATOS DE ANALISIS PARA CARGA L - C

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \ \Omega.$

$I_f = 2.3 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1320 r.p.m.

número de polos = 2

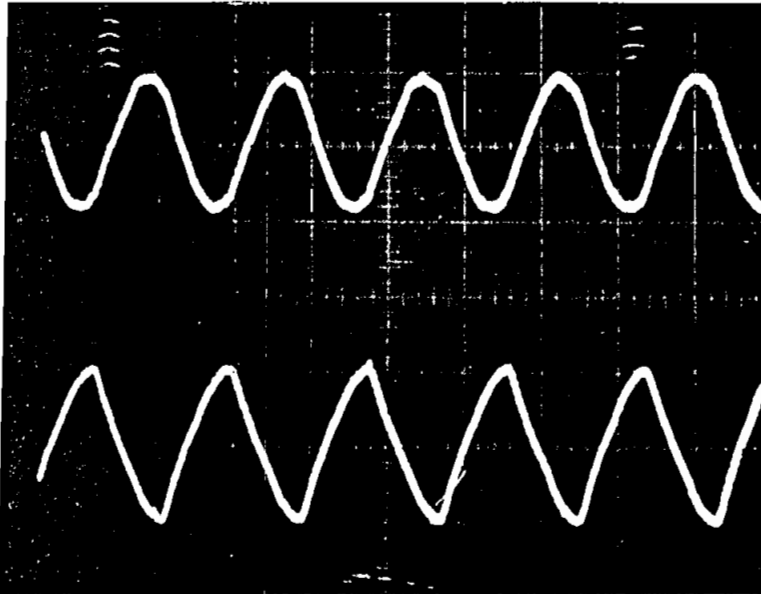
frecuencia de salida = 44 Hz.

$L_{carga} = 0.5 \text{ H.}$

$C_{carga} = 20 \ \mu\text{F.}$

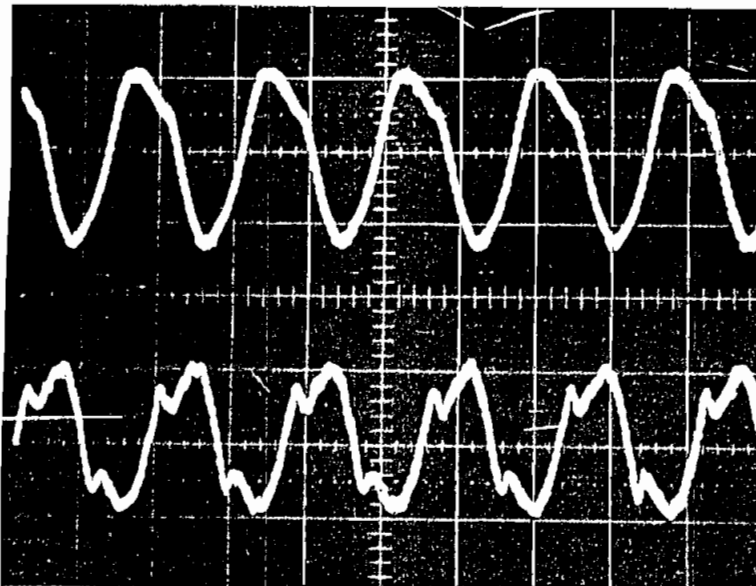
$f_{pa} = 0.365$

$f_{pb} = 0.341$



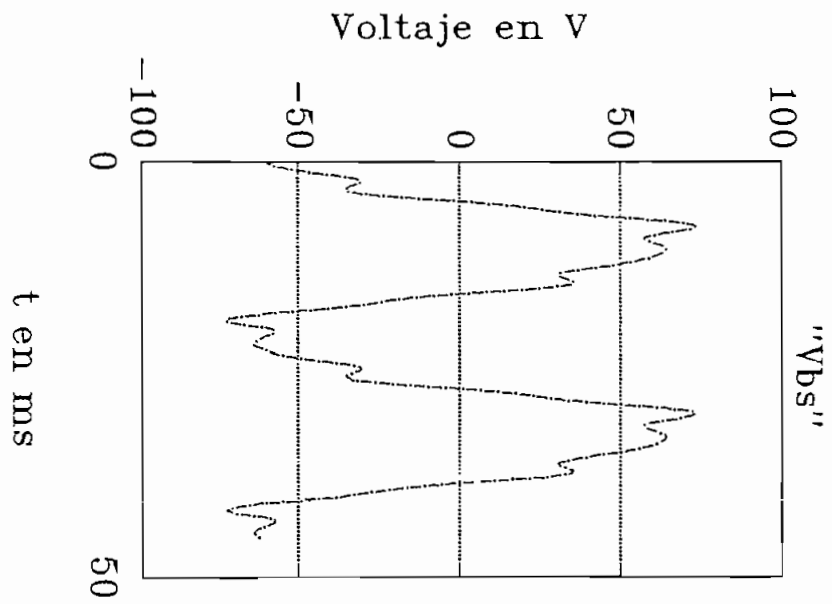
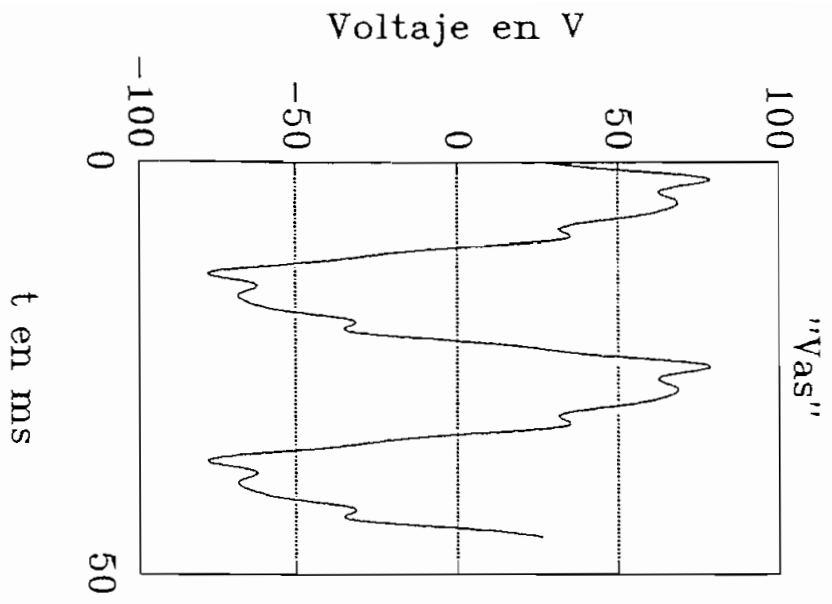
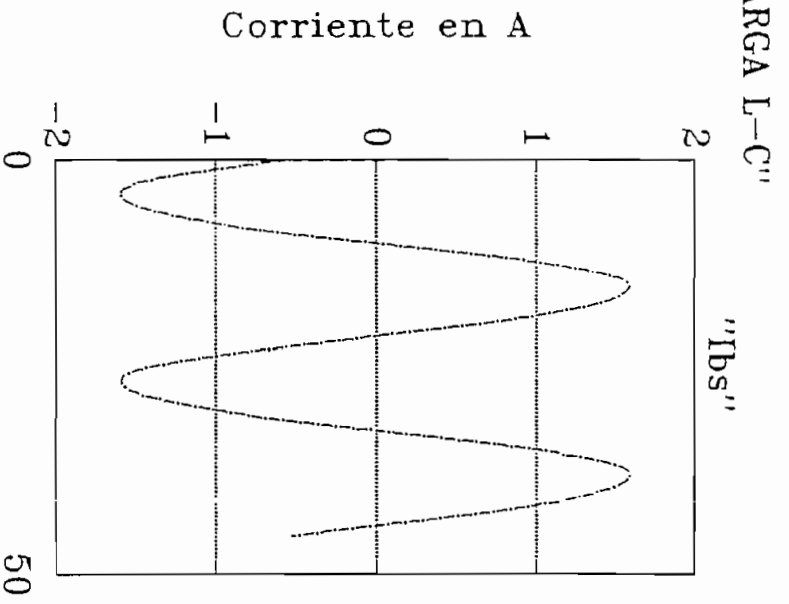
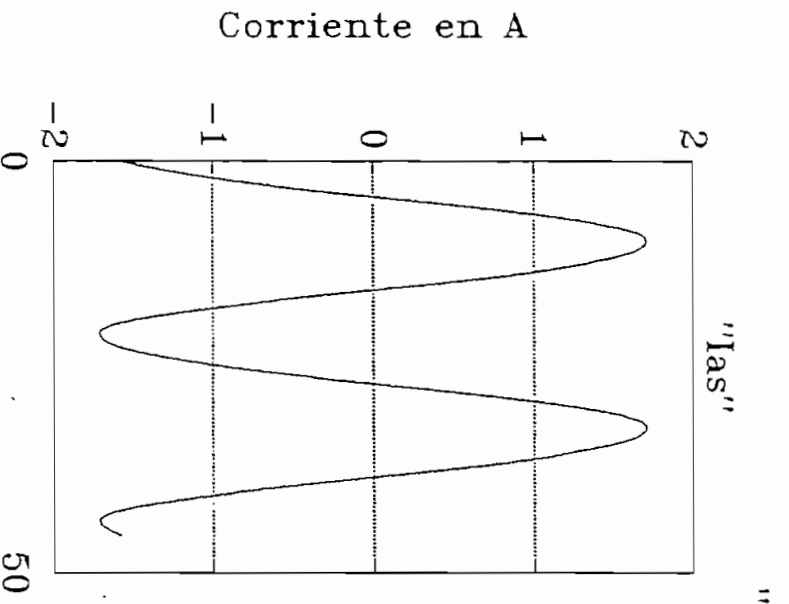
CORRIENTE CARGA LC
EJE X 10 ms/div
EJE Y 1 A/cm

CARGA 2
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
1320 rpm

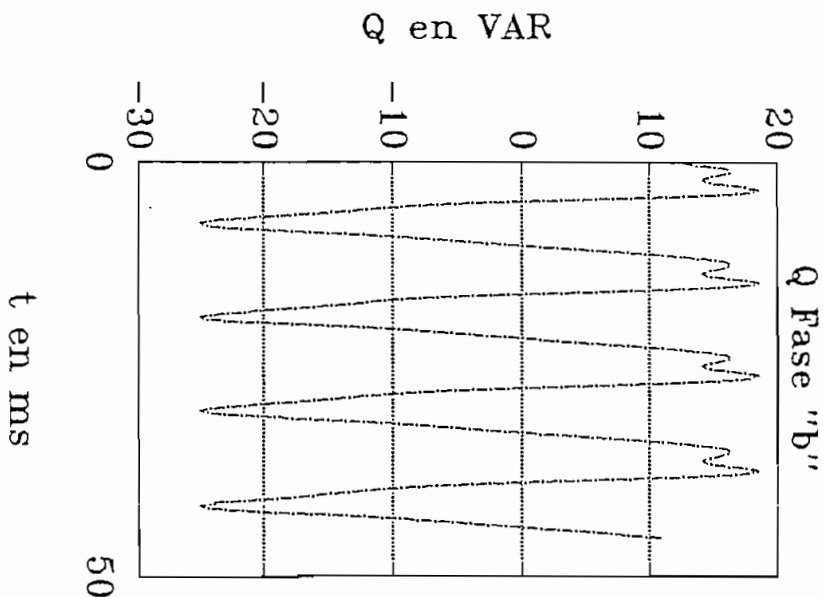
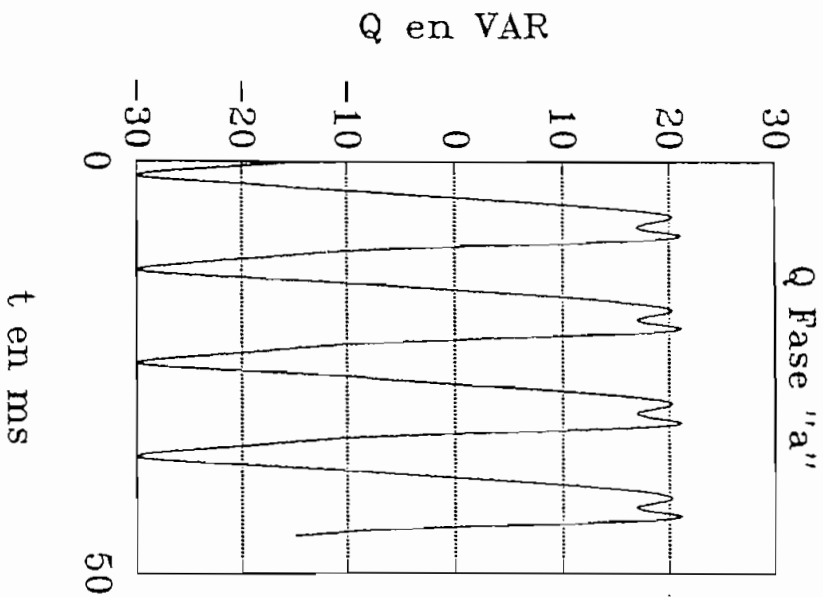
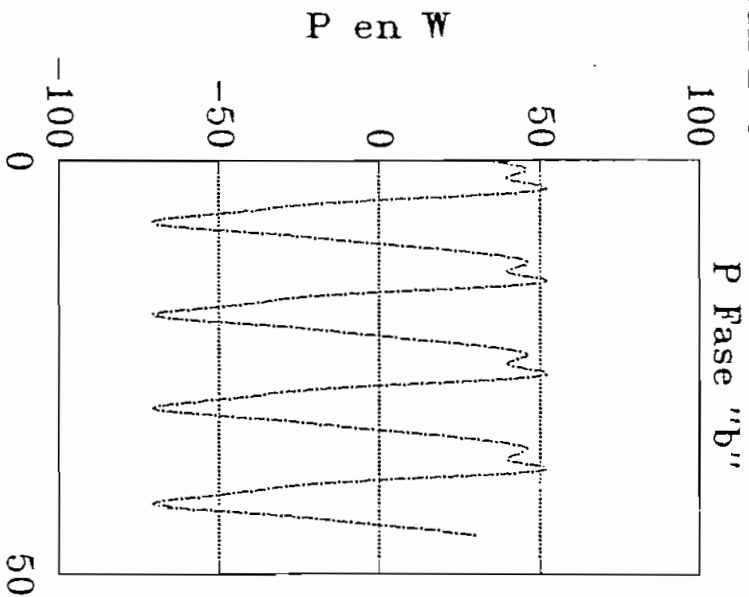
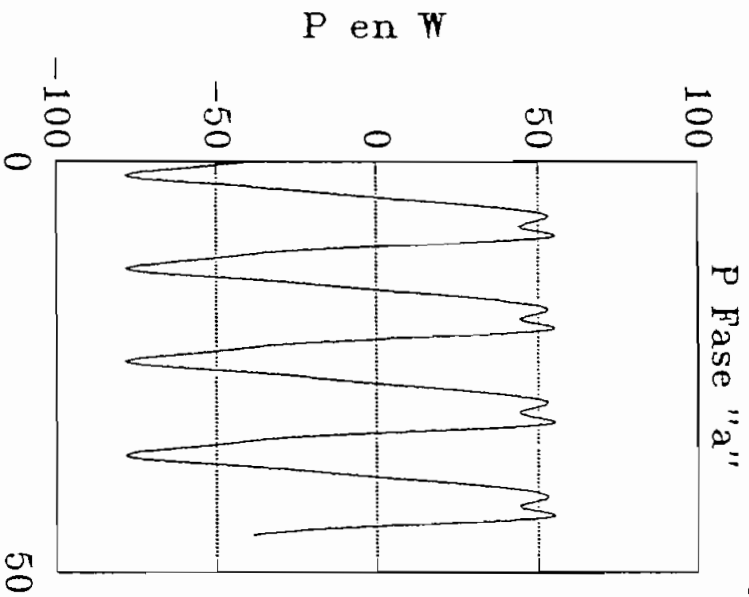


VOLTAJE CARGA LC
EJE X 10 ms/div
EJE Y 100 V/cm

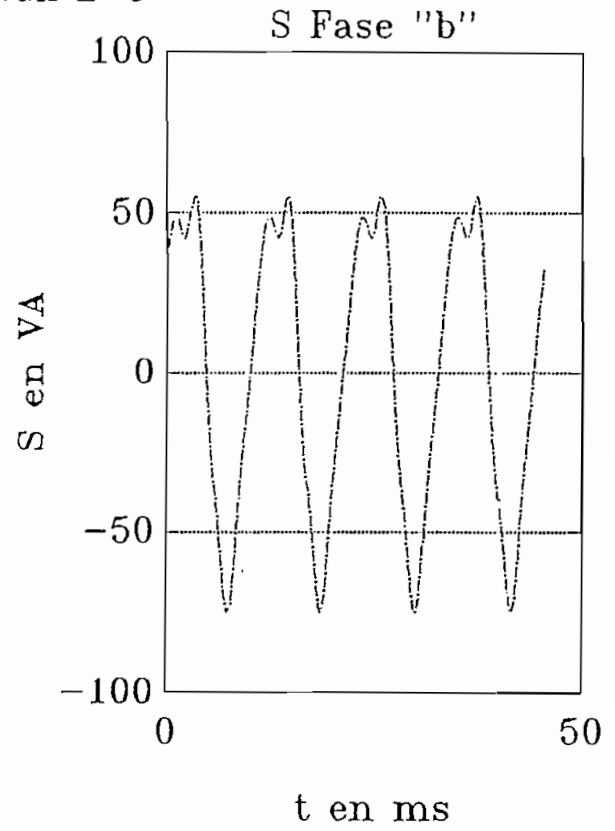
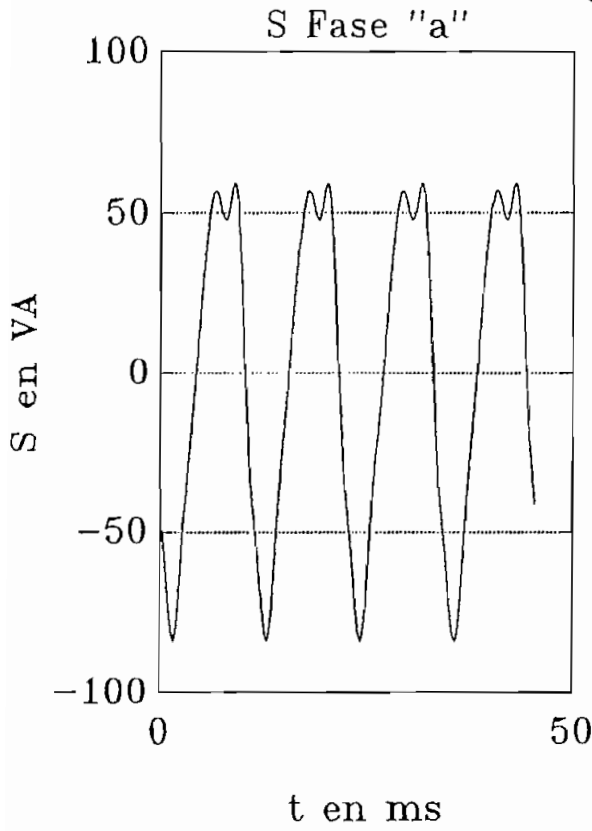
CARGA 2
 $I_f = 2.3 \text{ A}$
1320 rpm



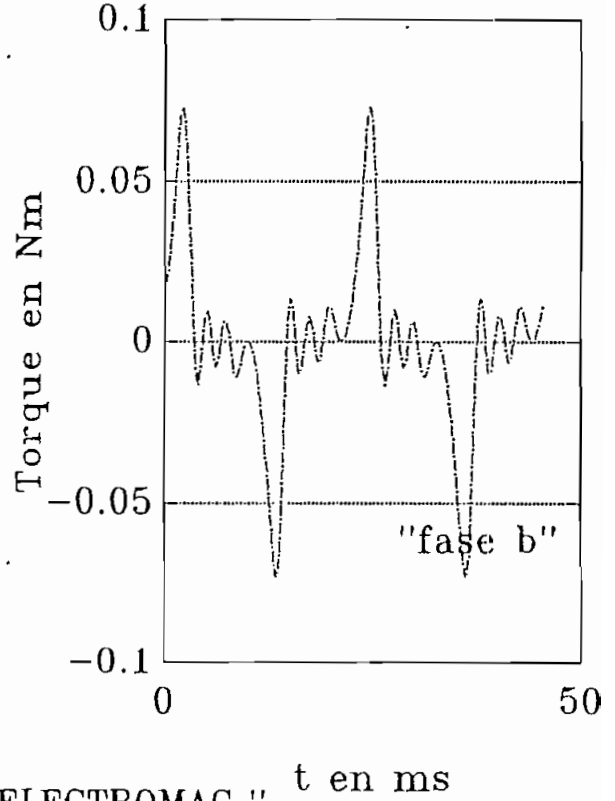
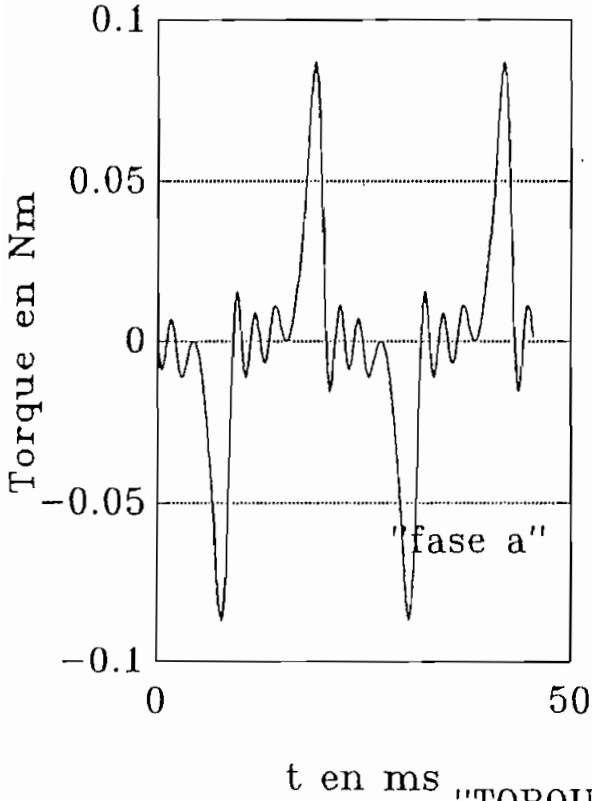
"CARGA L-C"



"CARGA L-C"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA	L - C
------------------------------	-------

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \ \Omega.$

$I_f = 4 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 900 r.p.m.

número de polos = 2

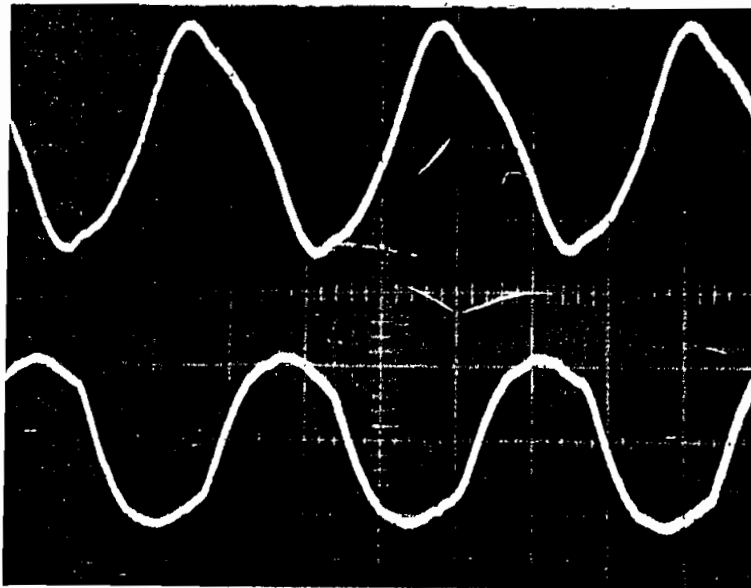
frecuencia de salida = 30 Hz.

$L_{carga} = 0.25 \text{ H.}$

$C_{carga} = 40 \ \mu\text{F.}$

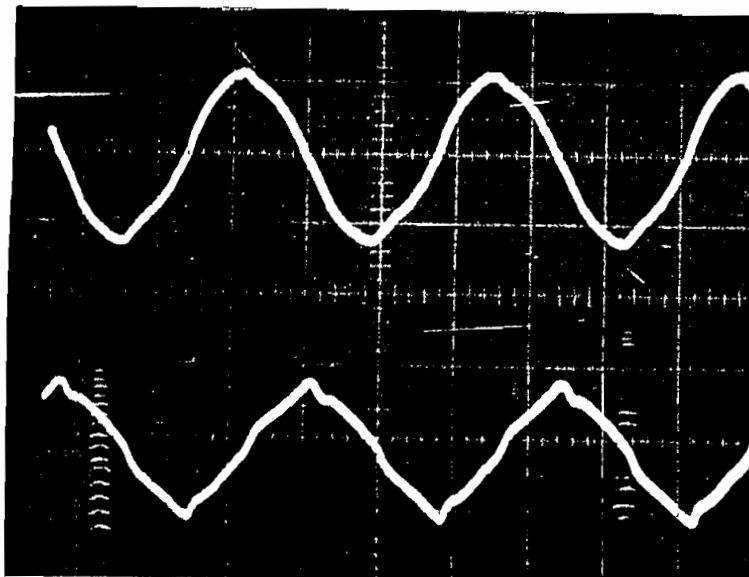
$f_{pa} = -0.265$

$f_{pb} = -0.275$



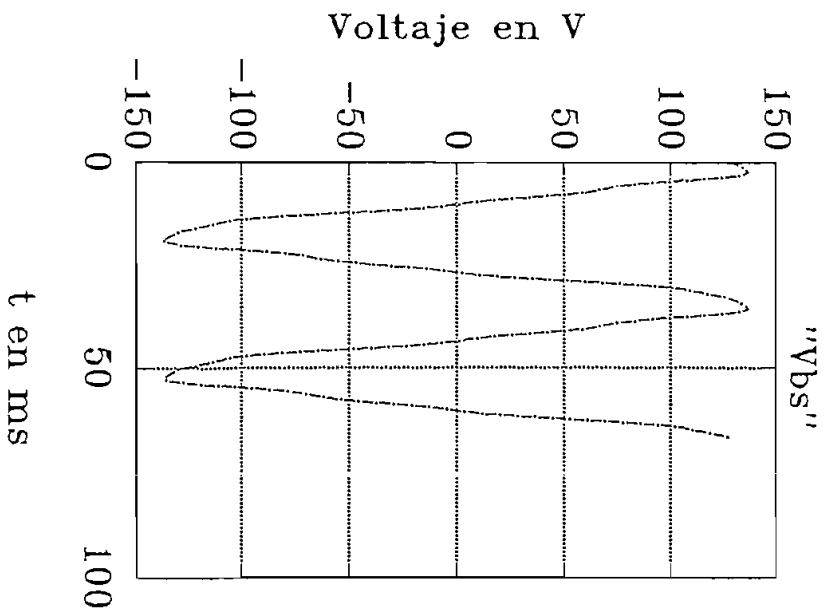
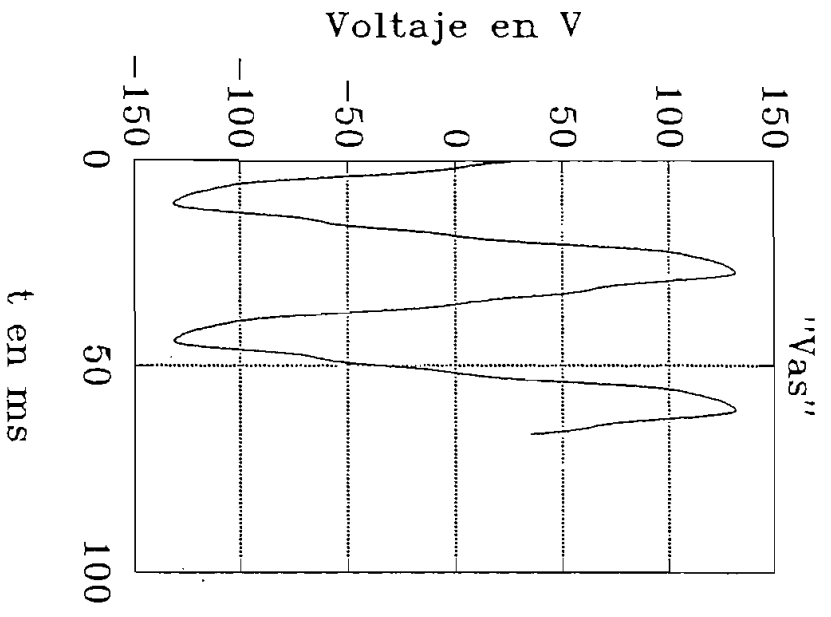
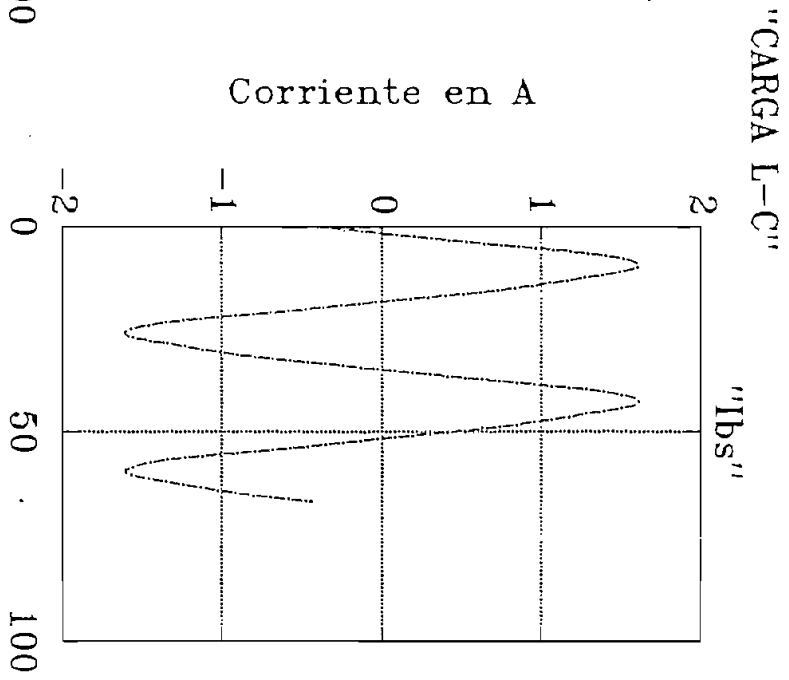
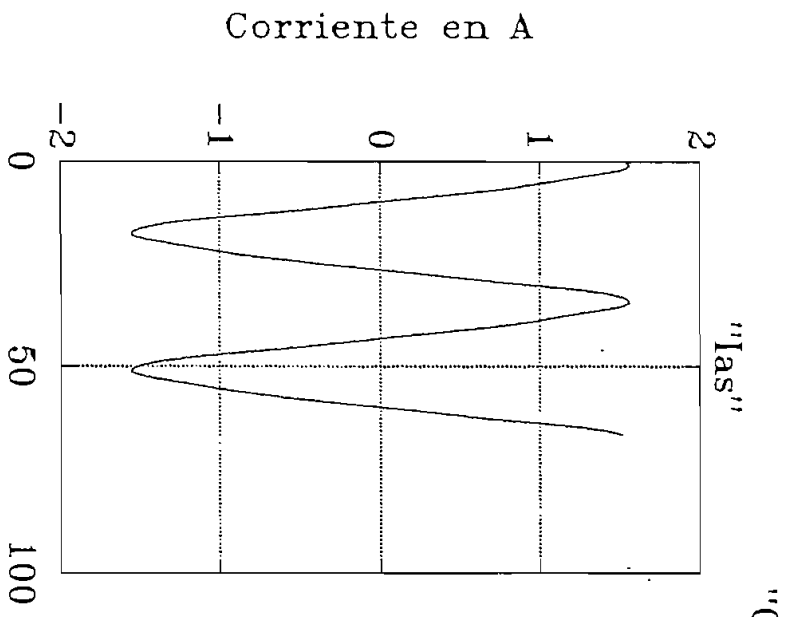
CORRIENTE CARGA LC
EJE X 10 ns/div
EJE Y 1 A/cm

CARGA 4
 $I_f = 4 \text{ A}$
900 rpm

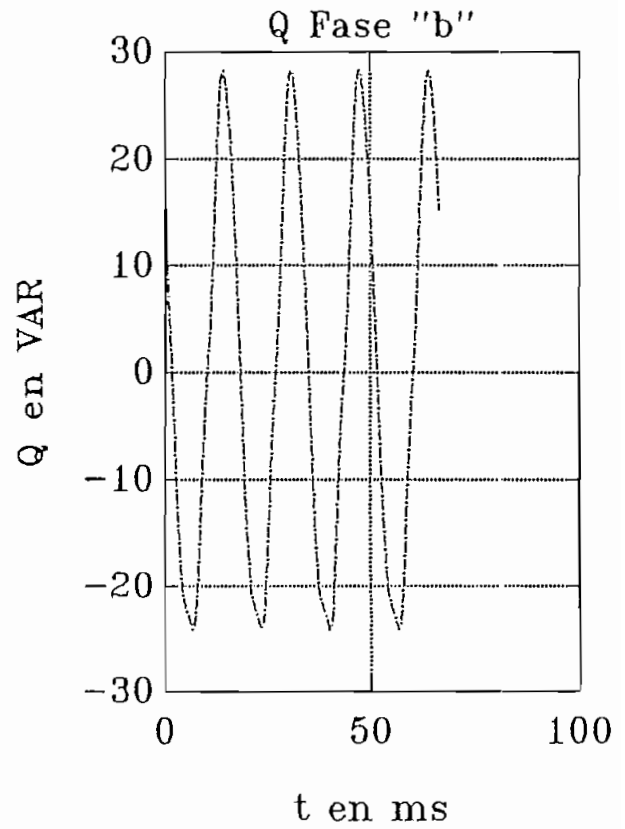
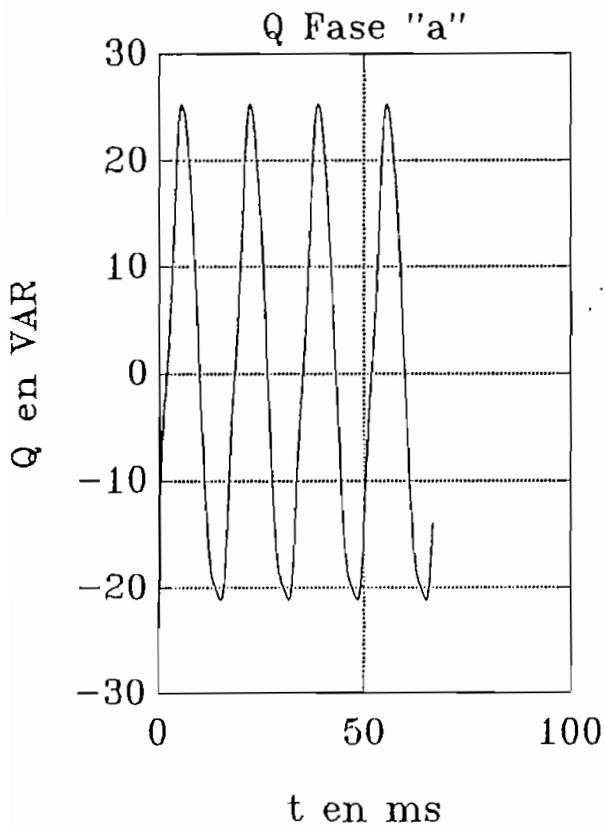
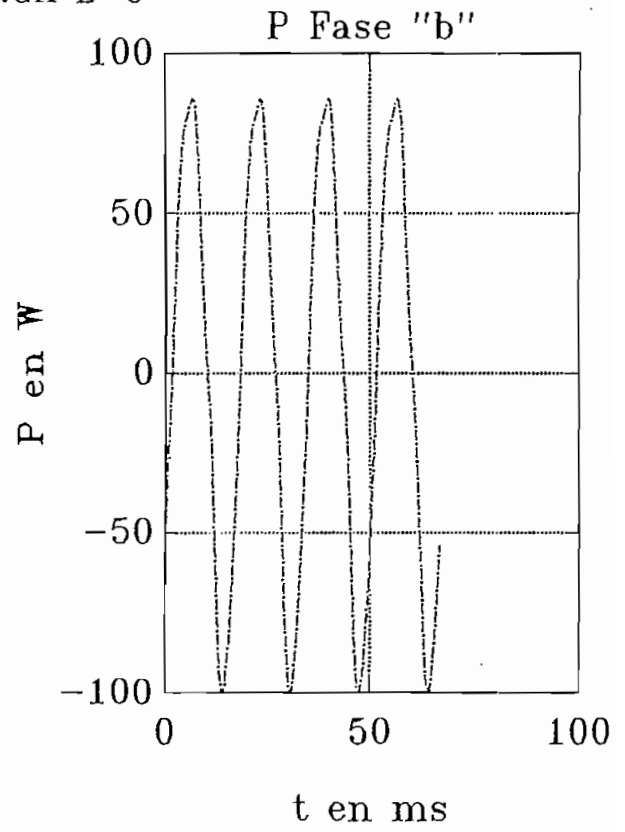
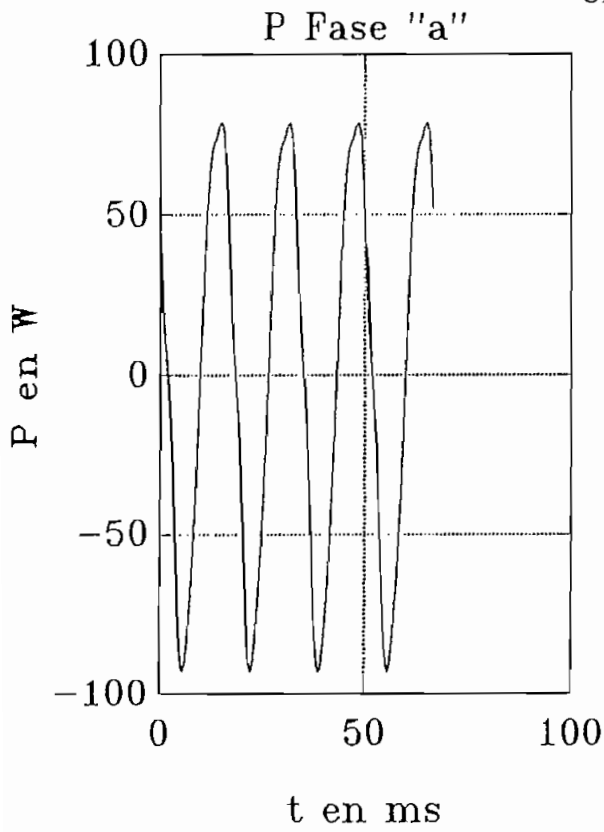


VOLTAJE CARGA LC
EJE X 10 ns/div
EJE Y 100 V/cm

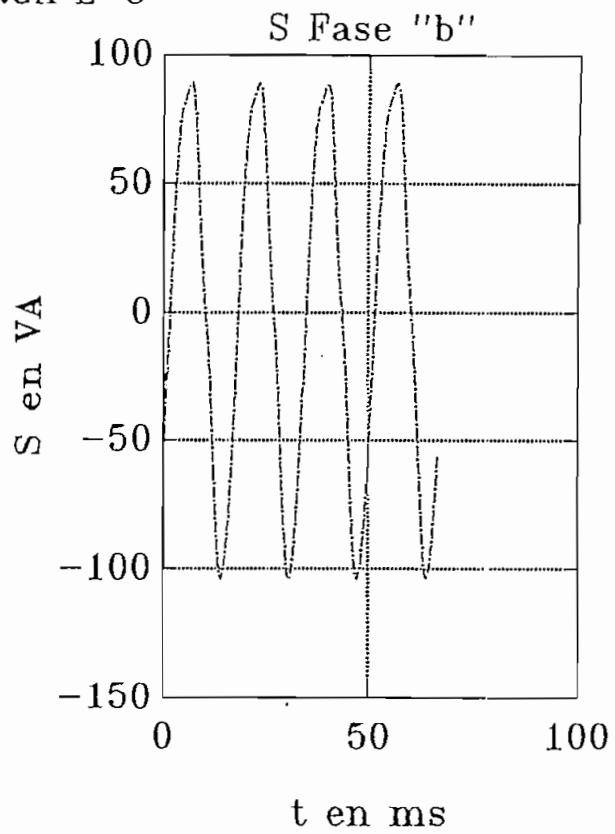
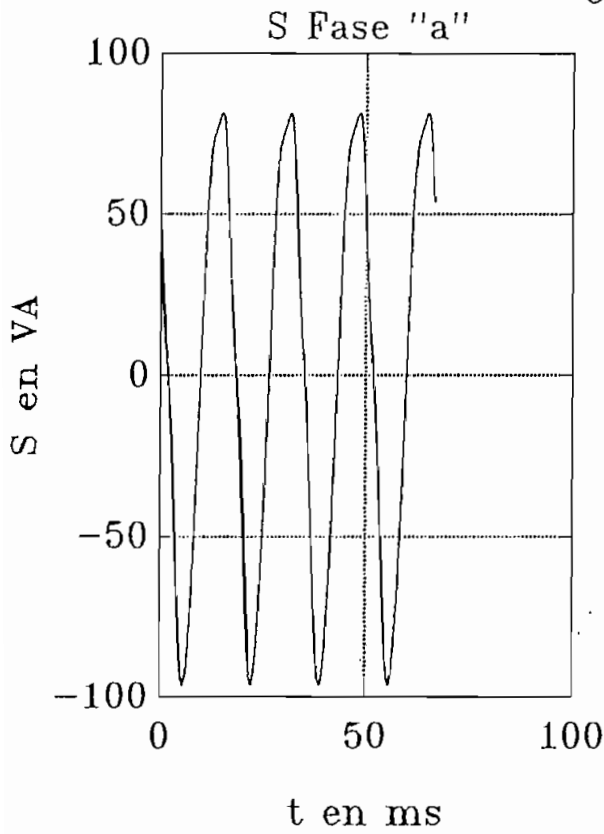
CARGA 4
 $I_f = 4 \text{ A}$
900 rpm



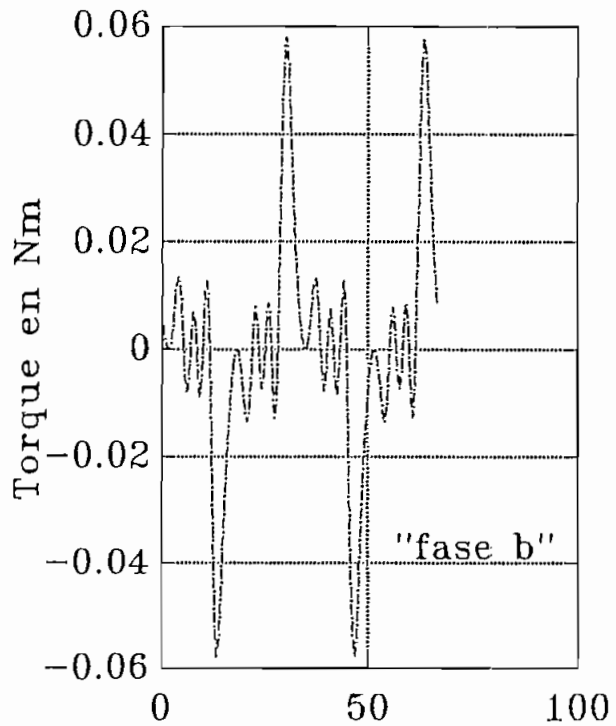
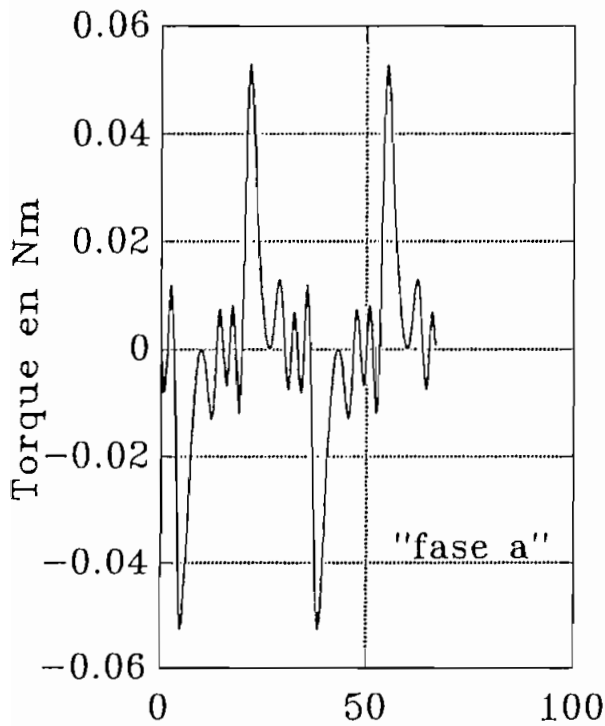
"CARGA L-C"



"CARGA L-C"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG." t en ms

DATOS DE ANALISIS PARA CARGA "R-L-C"

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \ \Omega.$

$I_f = 2.3 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1760 r.p.m.

número de polos = 2

frecuencia de salida = 58.67 Hz.

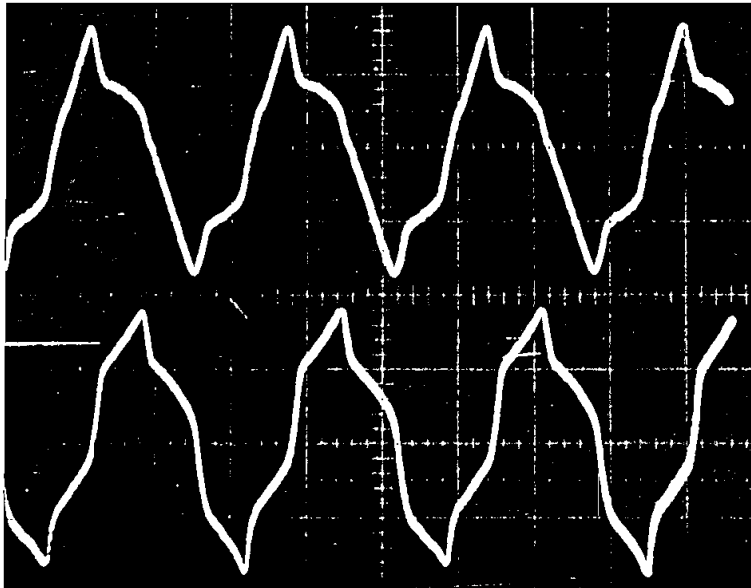
$R_{carga} = 120 \ \Omega.$

$L_{carga} = 0.5 \text{ H.}$

$C_{carga} = 20 \ \mu\text{F.}$

$f_{pa} = 0.679$

$f_{pb} = 0.671$



CORRIENTE CARGA RLC

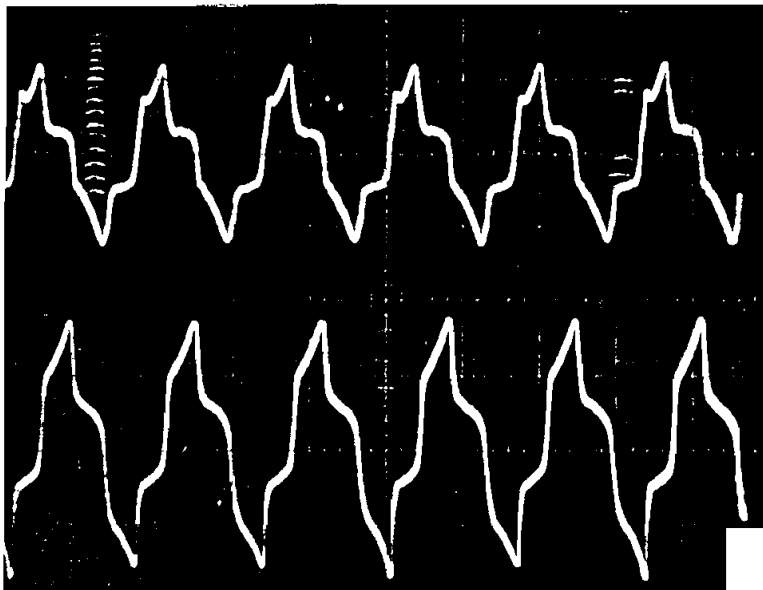
EJE X 10 ms/div

EJE Y 0.1 A/cm

CARGA 2

$I_f = 2.3 \text{ A}$

1760 rpm



VOLTAJE CARGA RLC

EJE X 10 ms/div

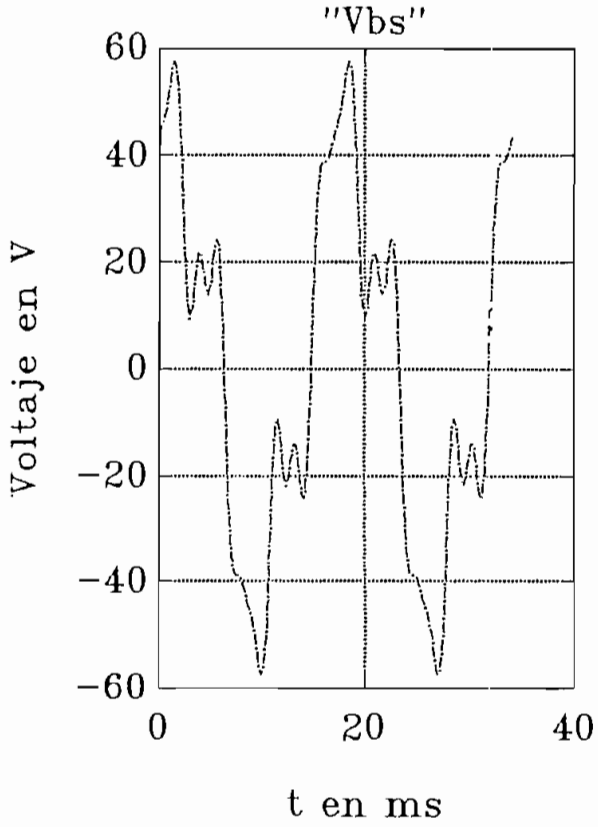
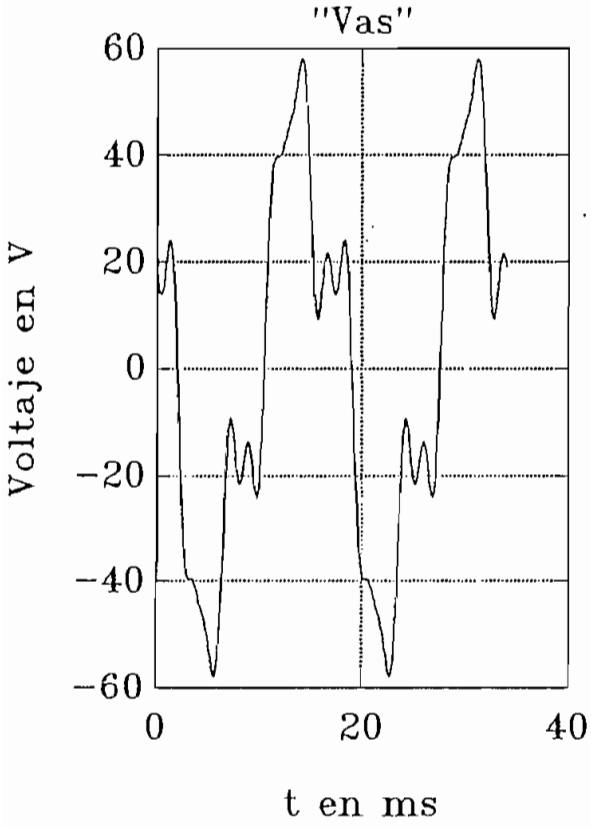
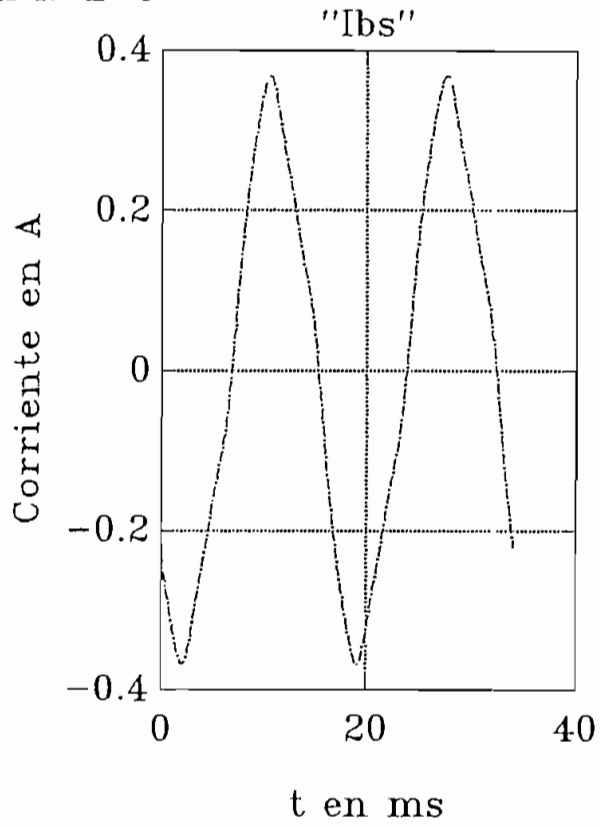
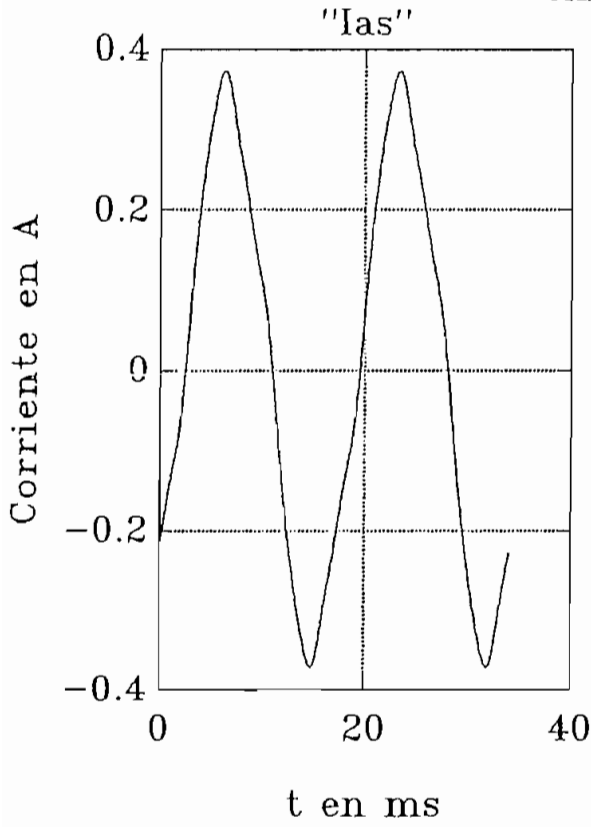
EJE Y 50 V/cm

CARGA 2

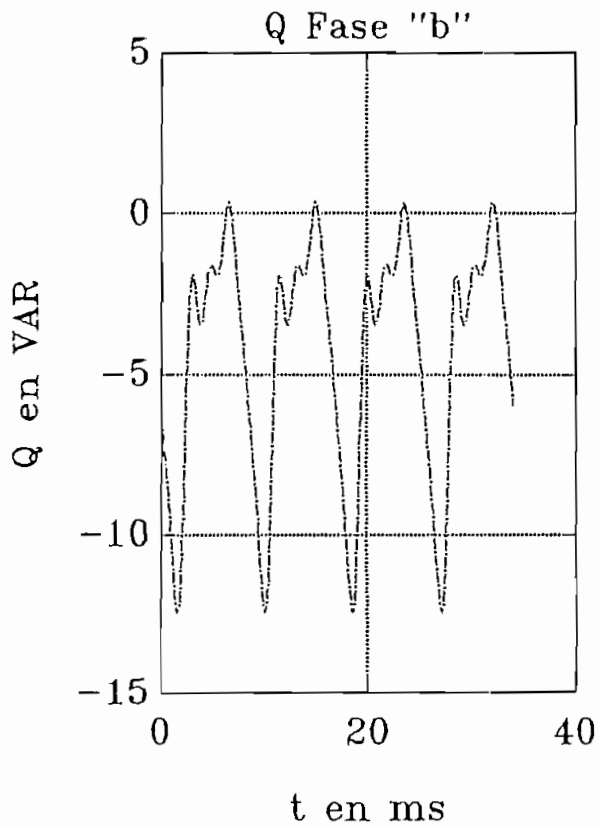
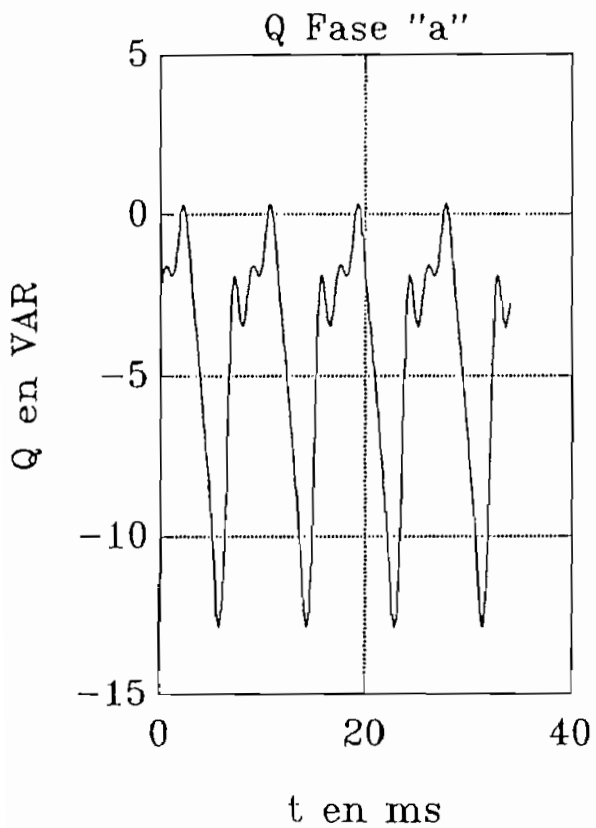
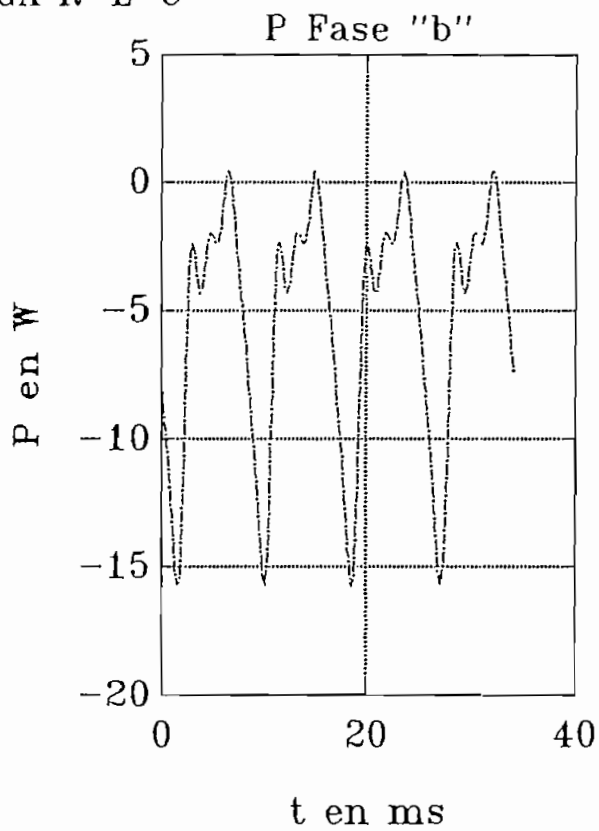
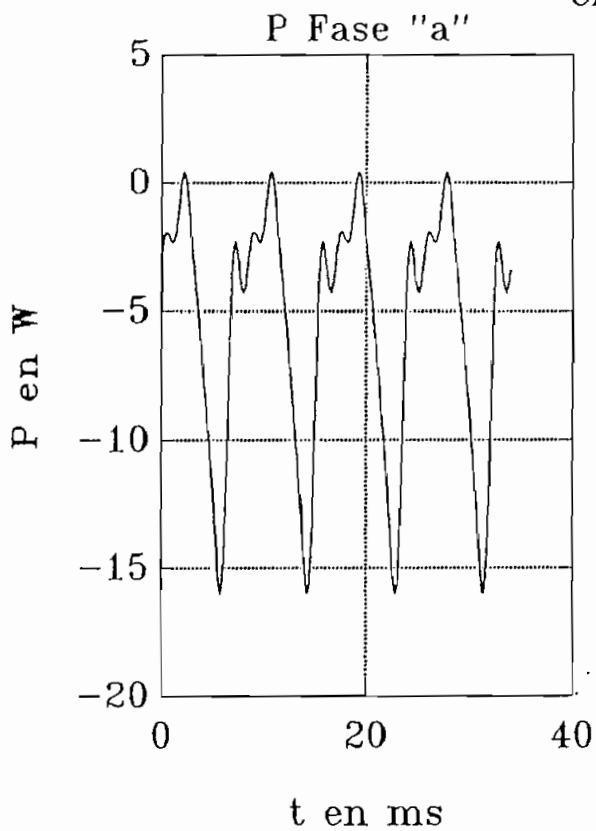
$I_f = 2.3 \text{ A}$

1760 rpm

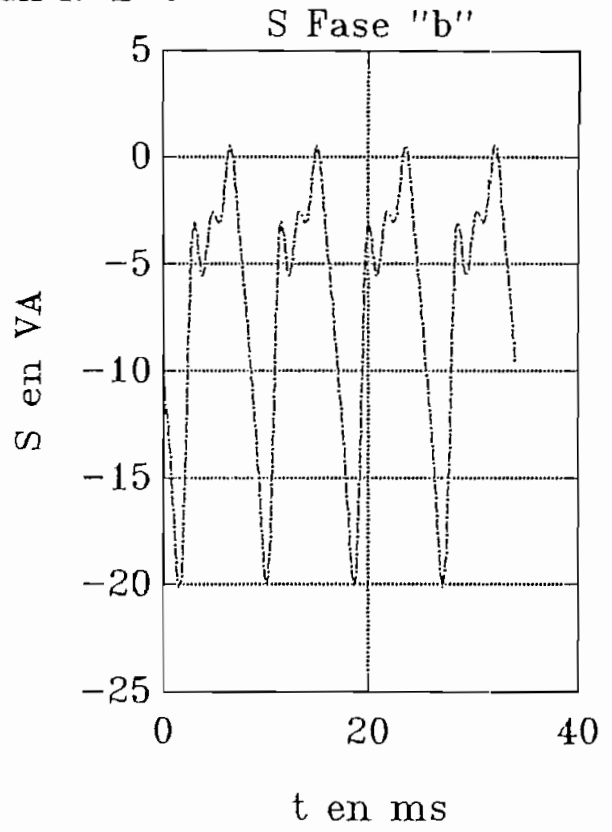
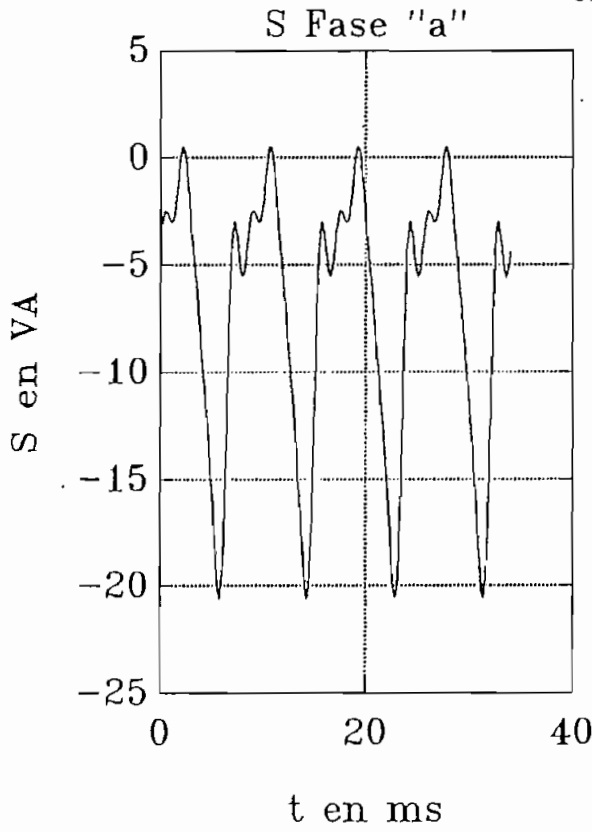
"CARGA R-L-C"



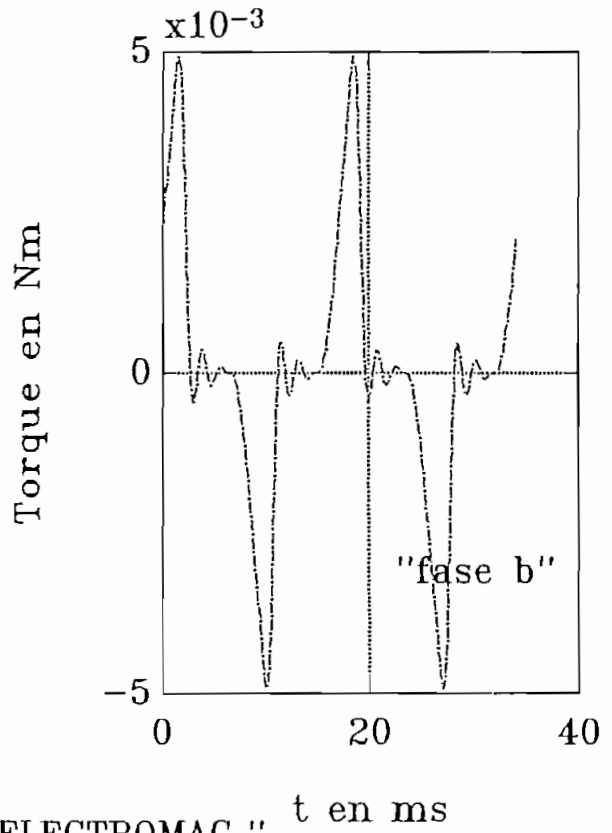
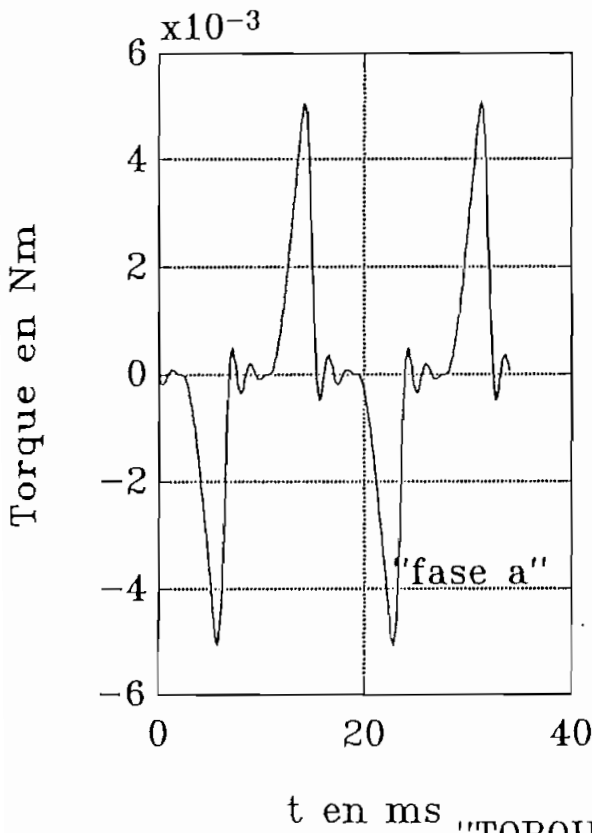
"CARGA R-L-C"



"CARGA R-L-C"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

DATOS DE ANALISIS PARA EL MOTOR

$L_{ass} = 0.251 \text{ H.}$

$L_{bss} = 0.259 \text{ H.}$

$L_o = 0.06795 \text{ H.}$

$r_s = 10.5 \Omega.$

$I_f = 3 \text{ A.}$

velocidad del rotor = 1800 r.p.m.

número de polos = 2

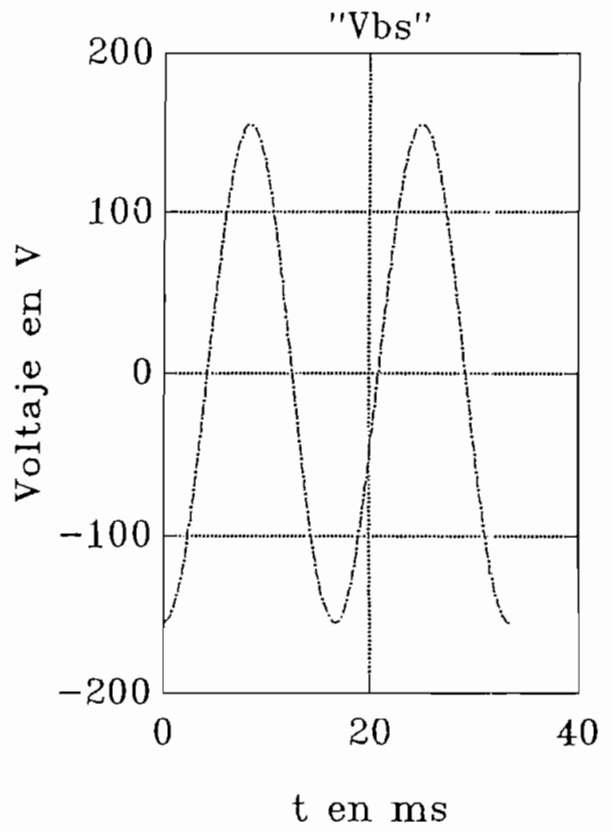
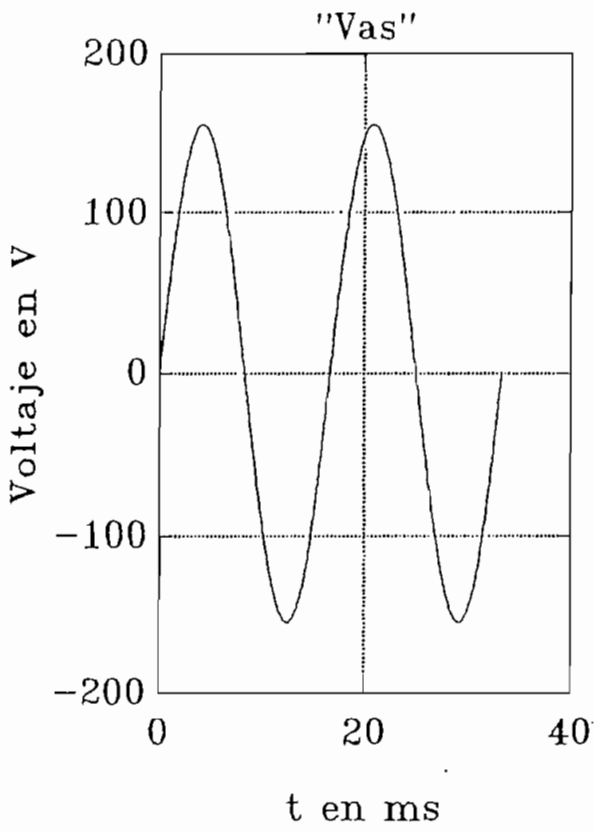
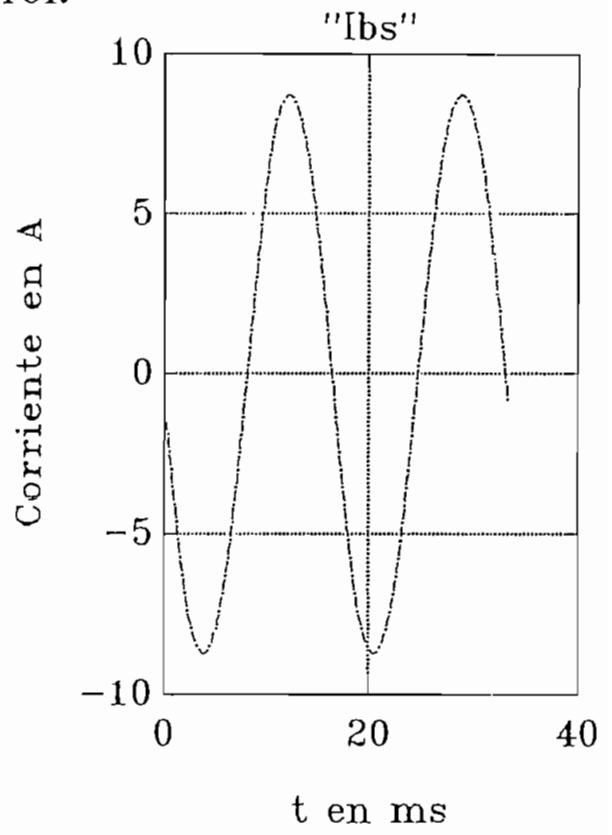
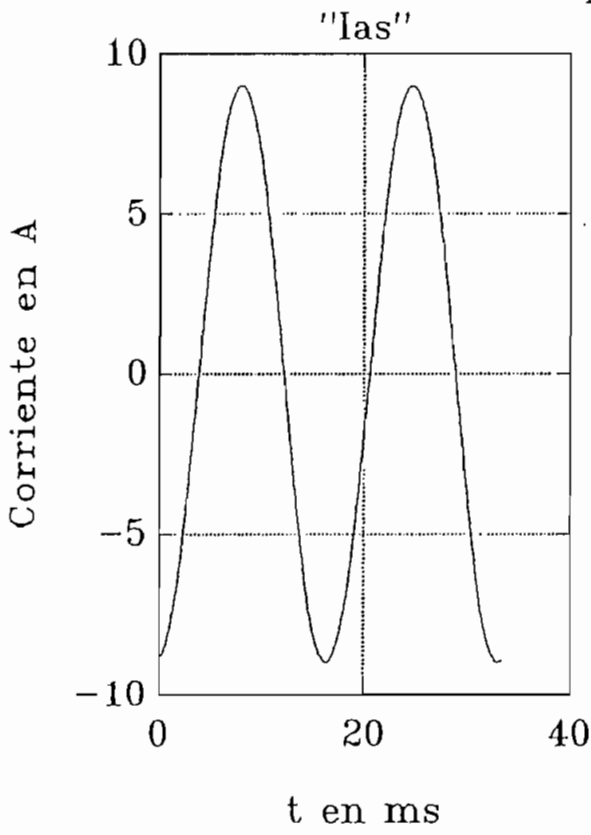
frecuencia de salida = 60 Hz.

$V_{ff \text{ rms}} = 110 \text{ V.}$

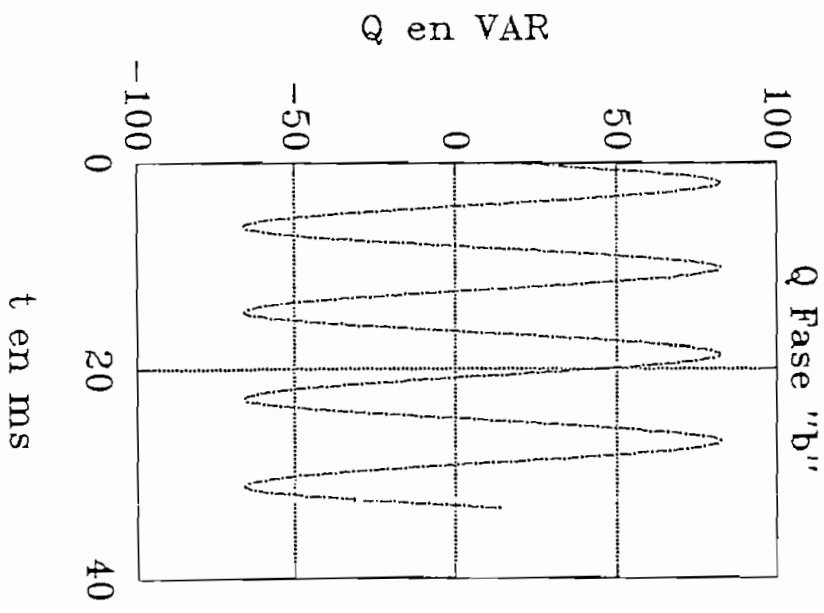
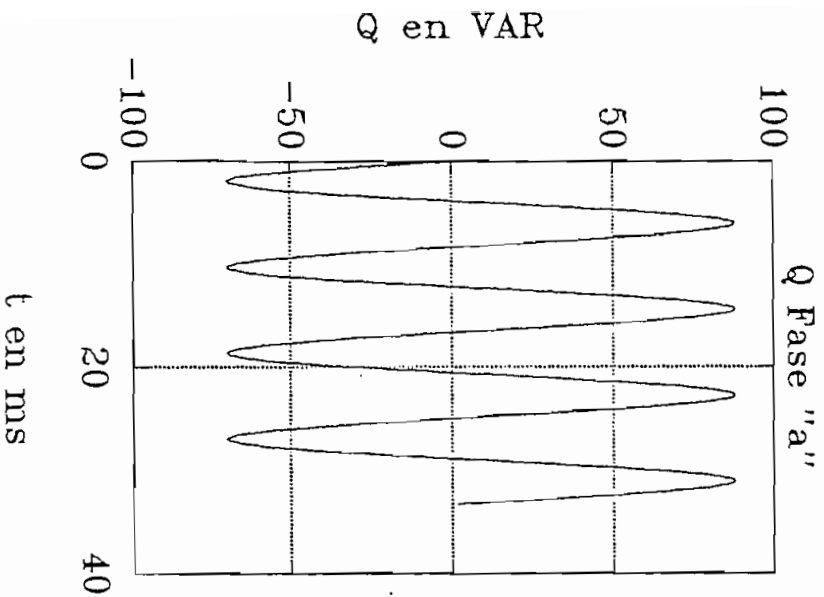
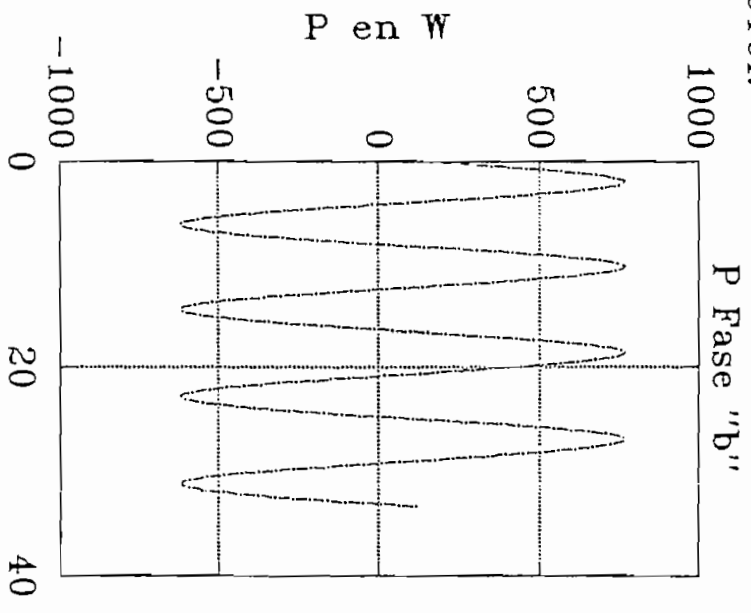
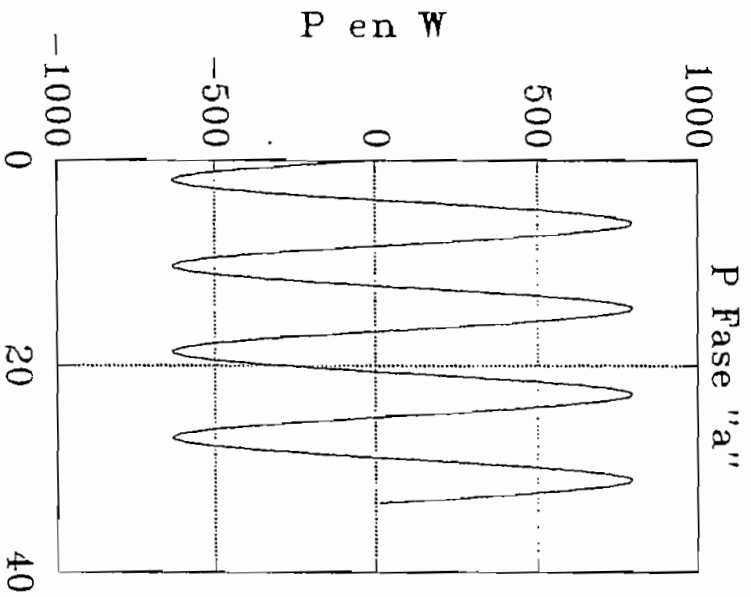
$f_{pa} = 0.11$

$f_{pb} = 0.107$

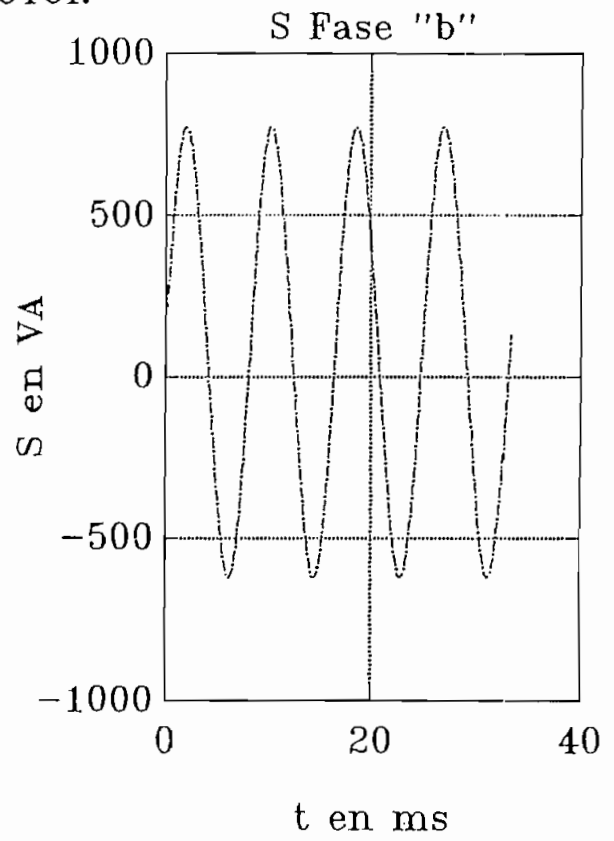
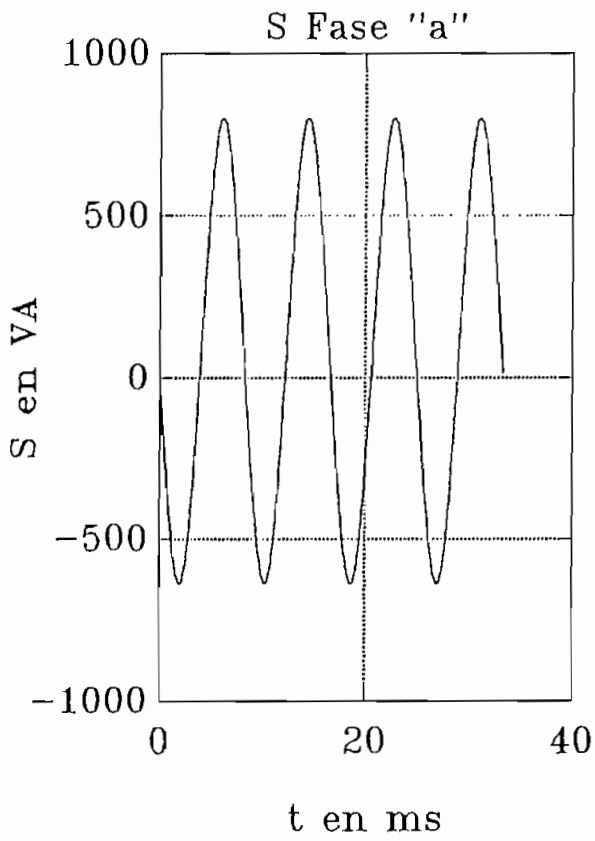
MOTOR



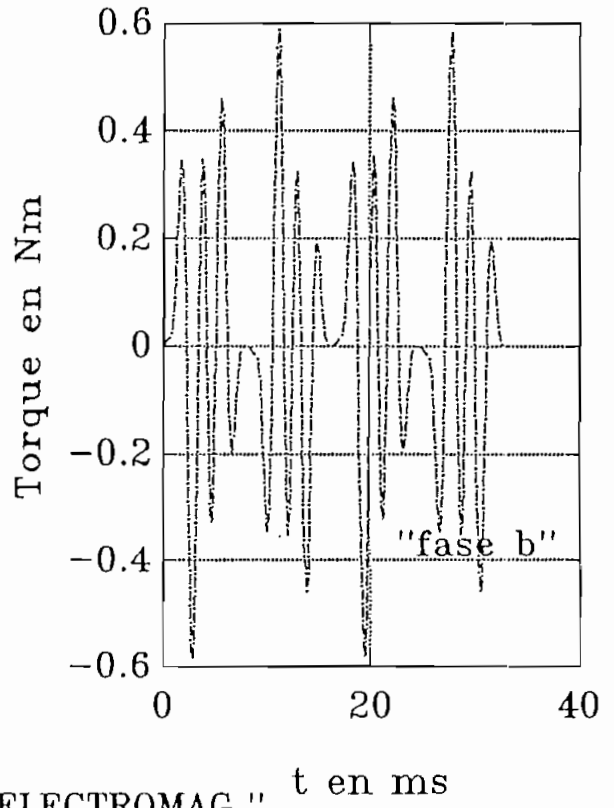
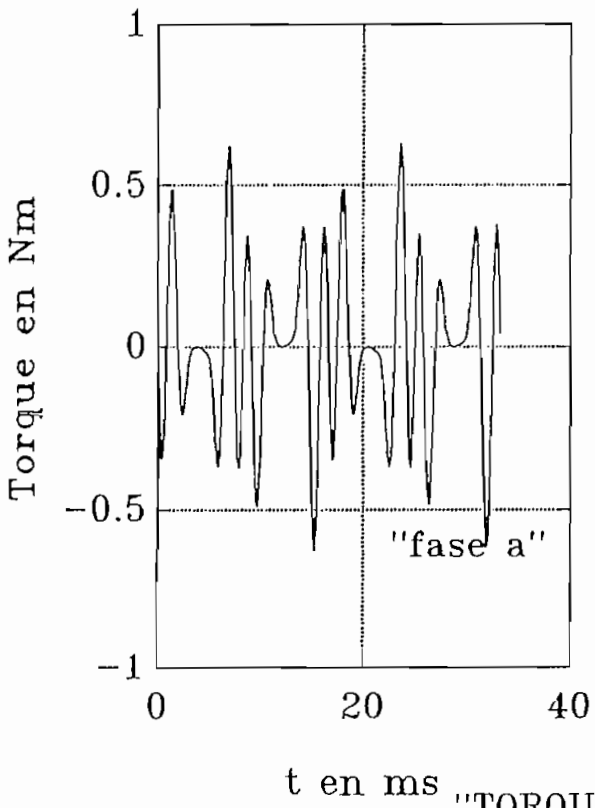
"MOTOR"



"MOTOR"



"POTENCIA APARENTE"



"TORQUE ELECTROMAG."

5.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

5.3.1 COMENTARIOS

El Generador de Reluctancia construido en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, da lugar a un interés en su estudio, por la particularidad de sus rotores, que está fuera de lo común con el resto de máquinas que se está observando a diario.

Por su debilidad en su parte rotórica, consistencia mecánica y eléctrica no se realiza las pruebas como motor, por el hecho que sus bobinados y el flujo magnético creado no pueden vencer la masa inercial del rotor, tan solo da un pequeño movimiento, y posteriormente trabaja como transformador.

Por las formas típicas de voltaje y corriente se lo utiliza como generador de señales.

Se puede construir máquinas más grandes, y dependerá exclusivamente de las bobinas, como se puede analizar en el programa.

El programa se lo ha realizado lo más sencillo posible de tal manera que el usuario no tenga problemas en su ejecución y aprendizaje tanto del paquete como de los fundamentos teóricos del generador de reluctancia, quedando la posibilidad de realizar un incremento al programa, bajo este mismo tópico.

Se obtiene las características del generador, se realiza las pruebas de vacío, cortocircuito, las combinaciones de carga tipo R-L-C, y la simulación como motor, obteniendo las formas de onda de V, I, P, Q, S, Torque electromagnético.

El conocimiento de las máquinas de reluctancia es amplio aunque casi desconocido, por lo que es fundamental difundir este tema para tener un mayor conocimiento de él.

5.3.2 CONCLUSIONES

- De acuerdo a las ecuaciones encontradas la generación de voltaje depende exclusivamente de la inductancia de acoplamiento entre el campo y armadura.
- Con las ecuaciones se puede realizar un estudio a fondo de los armónicos que presenta el generador.
- La posición de los bobinados de campo y armadura deben ser colocados adecuadamente es decir la armadura internamente y el campo exteriormente, caso contrario se tendra voltajes y corrientes distorsionadas, es decir tienen que colocarse en el camino de menor reluctancia.
- El voltaje generado como la frecuencia son directamente proporcionales a la velocidad.
- El voltaje generado es directamente proporcional a la corriente de campo.
- Si el generador esta con carga, a medida que se aumenta la corriente de campo (sobreexcitación), el voltaje de armadura disminuye y la corriente en la carga aumenta, con la posibilidad de que el generador se bloquee si la corriente de campo es mayor que la nominal (15A-20A).
- El incremento de la corriente de armadura da lugar a un pérdida de velocidad, es decir es inversamente proporcional.
- Para el caso de carga capacitiva el voltaje de armadura es directamente proporcional a la corriente de campo para valores de carga de hasta 30 μF caso contrario el voltaje de armadura disminuye, comportándose en una forma inestable.
- De igual manera para la corriente de armadura es directamente proporcional a la corriente de campo con

carga capacitiva.

- De acuerdo a los resultados presentados el generador de reluctancia es de bajas potencias, existiendo pérdidas por reacción de inducido analizadas en la obtención de L_o .
- La regulación de voltaje es mala para cualquier tipo de carga que se desee analizar salvo para la capacitiva, esto quiere decir que no se utilizará el generador para fines en que se necesite un voltaje constante.
- Las formas de onda tomadas del osciloscopio con respecto a las del programa son similares salvo ciertas irregularidades presentes que son efecto de la construcción del rotor, estator, de la no uniformidad del entrehierro y de los valores de las inductancias.
- El efecto de alimentar al campo con voltaje DC no quiere decir que la corriente es pura, se observa que existe un rizado en la corriente que es el efecto del acoplamiento entre campo y armadura, pero para fines de facilitar el análisis se considera esta corriente como constante.
- La corriente de armadura para todos los casos analizados es pequeña, máximo (1A - 1.5A)
- El torque electromagnético es directamente proporcional al cuadrado de la corriente de armadura.
Las ecuaciones de voltaje, corriente y torque depende de a_n , y posee un término sinusoidal dependiente de n que da la mejor proyección de éste para un análisis efectivo.
- El torque electromagnético es inversamente proporcional a la velocidad del rotor.
- Por estas consideraciones el torque electromagnético es

pequeño.

- De las ecuaciones se observa que la inductancia es función de la posición del rotor o de la variación con respecto al tiempo.
- La Reluctancia esta directamente relacionada con el número de vueltas que tenga los bobinados de campo y armadura, e inversamente a la inductancia de estos.
- Por la posición característica de los rotores, la reluctancia o permeancia tendra un desfase respecto al otro rotor.
- En las tablas presentadas en el capitulo IV se observa que el generador presenta un rendimiento variable de acuerdo al tipo de carga y en bajo por lo general bajo de 60%.
- El rendimiento se puede mejorar si la resistencia de campo es baja por valores menores de 1 ohm, de igual manera para la resistencia de armadura.

5.3.3 RECOMENDACIONES

- La investigación sobre el generador de reluctancia acoplado a rectificadores de onda completa para obtener señales que se puede utilizar en sistemas de control y/o disparo de tiristores, que puede darse alguna utilidad a esta máquina.
- Un estudio de la máquina de reluctancia considerando el tipo de rotor y el número de saliencias, que influye en la reluctancia.
- Analizar la máquina de reluctancia uniforme y no uniforme bajo operación asincrónica
- Estudiar al generador de reluctancia bifásico con bobinados de compensación en la armadura.
- Realizar un análisis de los armónicos que presenta el generador de reluctancia en base a la variación de n .
- Realizar mantenimiento y adecuaciones al generador, en los rotores, colocar chavetas en los extremos del eje por que tiende a desplazarse en sentido horizontal, y llegara el momento en que se salga el eje de la zapata de acoplamiento de la máquina motriz, y causar daños físicos, materiales tanto de las personas que utilizen como en la máquina misma.

APENDICE A

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

El programa consta de un diskette de 3 ½" de alta densidad, posee un archivo llamado "DDRELUC" y bajo éste mismo nombre corre el programa para la simulación.

El programa necesita de coprocesador matemático para trabajar, o algún tipo de emulador, el que verifica el programa, y si no dispone digite "EM87/L", se necesita como mínimo de 640 Kb de memoria RAM.

Una vez cargado "DDRELUC", se carga el graficador del DOS el que sirve para imprimir los gráficos con Print Screen, y luego carga al programa matlab, que es el programa básico para la simulación. Posteriormente del ingreso al programa de simulación aparece una pantalla de presentación del trabajo y espera 5 seg para continuar, luego se tiene una pantalla con las opciones de:

- Información de uso del programa, el cual da información de este con mayor énfasis y posibles cambios en la estructura de gráficos que se desee hacer posteriormente.
- Conocimiento de la máquina, realiza un resumen del principio de funcionamiento de la máquina como de su estructura.
- Empezar simulación, tiene varios temas a tratar como son el análisis del generador en cortocircuito, vacío, como motor y todas las combinaciones de carga R,L,C, como también las características básicas de funcionamiento por efecto de las inductancias de campo y armadura dadas por el número de espiras de las bobinas, lo que influye notablemente en el acoplamiento entre campo y armadura.

A estos subprogramas se entra con el número indicado y se introduce los datos de la máquina en valores reales.

El programa genera los gráficos con la extensión ".MET" que pueden ser impresos fuera del programa si se tiene un computador XT ó AT con pantalla monocromática, caso contrario basta con presionar "Print Screen" o a su vez si se desea mayor calidad de gráficos se puede pasar a la opción de imprimir gráficos, los que se imprimirán una vez realizada la(s) simulación (es) y posteriormente se borrarán.

Cabe mencionar que los gráficos se van almacenado en forma seriada es decir en orden de creación, y de igual manera serán impresos.

Para salir tanto de los subprogramas como del programa general se presiona el número cero y luego aparece el símbolo "»" el que representa el programa matlab y para salir de este se digita "quit" o se presiona "Ctrl. Z" y sale al DOS del computador.

El programa consta de archivos del tipo "fnombre .m" donde nombre toma los distintos casos a analizar, y son los subprogramas de análisis de la máquina de reluctancia, estos archivos son llamados por el programa matlab el instante en que se ejecuta y encuentra en nombre, todos estos archivos tienen la característica de ser dibujos pequeños, es decir se presentan 4 dibujos en pantalla como en papel, existen archivos de tipo "gfnombre.m" que presenta dibujos grandes, en pantalla como en papel.

Posee archivos "gnombre.m" que son los comandos para la impresión de gráficos de alta calidad, creados anteriormente, los que pueden ser impresos exclusivamnete aquellas computadoras que

posean monitores a colores: caso contrario se dispone de archivos del tipo "nombre.bat" los que se ejecutan desde el directorio RELUCTAN de acuerdo a la tabla que se da en el programa. estos gráficos tienen la característica de borrador, pero pueden ser cambiado al tipo calidad final si se cambia "depsd" por "depsf". El programa es puramente iterativo y realiza la suma de n términos para lo que en el programa crea matrices de ceros en el que se almacena los resultados de los gráficos, con esto se saca los valores máximos, mínimos, medios, por el subprograma "MEAN.M".

Posee varios archivos complementarios básicos propios del paquete matlab como son:

```
CHKLIST.CPS
EGAEPSON.COM
GPP.EXE
GRAFTABL.COM
GRAPHICS.COM
HGC.DRV
MATLAB.BAT
MATLAB.HPL
PCMATLAB.OVL
EM87.COM
GRAPH.BAT
GRAPHICS.PRO
PCMATLAB.EXE
```

Todo archivo con extensión ".m" es ejecutable en matlab y puede ser llamado con el nombre si se esta en la condición ">" de matlab por ejemplo:

La simulación de vacío tiene el archivo "fvacio.m" y de acuerdo al menú para ejecutar se realiza presionando "3" o puede digitar "fvacio" desde el menú o desde matlab propiamente, en caso que se salga por alguna falla a matlab.

Otro tipo de archivos con extensión ".m" son llamados como subrutinas al programa DDRELUC, si se ejecutan en matlab obtendra

error, éstos realizan cálculos de integrales, derivadas, datos típicos, presentación de logotipos, resultados y datos.

Posee archivos bajo distintos nombres, con la extensión .bat los que son los archivos para impresión de gráficos en computadores con pantalla monocromática.

En el listado del programa presentado en el capítulo III se puede observar que cada subprograma esta escrito de la forma "%nombre.M" el cual es el archivo que será llamado y ejecutado.

APENDICE B

SOLUCION A LA ECUACION DIFERENCIAL:

$$y'(\theta) + A y(\theta) = B \sin n\theta$$

que es del tipo :

$$y'(\theta) + y P(\theta) = Q(\theta)$$

$$\int P(\theta) d\theta = \int A d\theta = A\theta$$

$$y e^{\int P(\theta) d\theta} = e^{\int A d\theta} = e^{A\theta}$$

luego:

$$y e^{A\theta} = \int B \sin n\theta e^{A\theta} d\theta$$

integrando por partes:

$$u = B \sin n\theta$$

$$dv = e^{A\theta} d\theta$$

$$du = B n \cos n\theta d\theta$$

$$v = e^{A\theta}/A$$

por lo que :

$$\int u dv = uv - \int v du$$

reemplazando se tiene:

$$\int B \sin n\theta e^{A\theta} d\theta = \frac{B}{A} e^{A\theta} \sin n\theta - \frac{nB}{A} \int e^{A\theta} \cos n\theta d\theta$$

tomando :

$$u_1 = \cos n\theta$$

$$du_1 = -n \sin n\theta \, d\theta$$

$$dv_1 = e^{A\theta} \, d\theta$$

$$v_1 = e^{A\theta}/A$$

$$\int B \sin n\theta e^{A\theta} \, d\theta = B - A e^{A\theta} \sin n\theta - \frac{nB}{A} \left[\frac{e^{A\theta}}{A} \cos n\theta + \int n - A e^{A\theta} \sin n\theta \, d\theta \right]$$

despejando la integral se tiene:

$$\left[\frac{n^2 B}{A^2} + B \right] \int \sin n\theta e^{A\theta} \, d\theta = \frac{B}{A^2} e^{A\theta} (A \sin n\theta - n \cos n\theta)$$

despejando y simplificando se obtiene:

$$y e^{A\theta} = \int B \sin n\theta e^{A\theta} \, d\theta = e^{A\theta} B \frac{(A \sin n\theta - n \cos n\theta)}{n^2 + A^2}$$

y finalmente se tiene:

$$y = \frac{B (A \sin n\theta - n \cos n\theta)}{n^2 + A^2}$$

APENDICE C

SOLUCION A LA ECUACION DIFERENCIAL:

$$y''(\theta) + A y'(\theta) + B y(\theta) = C_1 \cos n\theta$$

Es una ecuación diferencial de la forma $F(D)y = Q$ que tiene por solución la forma :

$$y = \frac{1}{F(D^2)} \cos(ax+b) = \frac{1}{F(-a^2)} \cos(ax+b), F(-a^2) \neq 0$$

por lo que :

$$y = \frac{1}{D^2 + AD + B} C_1 \cos n\theta$$

agrupando, ordenando, reemplazando D^2 por $-n^2$, multiplicando y dividiendo por la conjugada se tiene:

$$y = \frac{1}{(-n^2 + B) + AD} C_1 \cos n\theta * \frac{(B - n^2) - AD}{(B - n^2) - AD}$$

realizando operaciones se tiene:

$$y = \frac{C_1 \cos n\theta}{(B - n^2)^2 + A^2 n^2} [(B - n^2) - AD]$$

aplicando la derivada en la ecuación anterior y sacando factor común se tiene:

$$y = C_1 \frac{[(B - n^2) \cos n\theta + A n \sin n\theta]}{(B - n^2)^2 + A^2 n^2}$$

APENDICE D

Todas las funciones analizadas trabajan en un período de 2π rad por lo que se hace más fácil la deducción e integración de las funciones tanto de voltaje como de corriente.

CALCULO DEL VALOR RMS DE LA ECUACION:

$$y = A * (B * \sin n\theta \pm C \cos n\theta)$$

aplicando la definición de valor rms se tiene:

$$y_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (A \sin n\theta \pm B \cos n\theta)^2 d\theta$$

desarrollando:

$$y_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (A^2 \sin^2 n\theta + B^2 \cos^2 n\theta \pm 2AB \sin n\theta \cos n\theta) d\theta$$

ordenando y simplificando :

$$y_{rms}^2 = \frac{1}{T} \left[\frac{\theta}{2} (A^2 + B^2) + \frac{\sin 2n\theta}{4n} (B^2 - A^2) \pm \frac{AB}{n} \sin^2 n\theta \right] \Big|_0^T$$

evaluando los límites y sacando la raíz se tiene:

$$y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{4nT} [2nT(A^2 + B^2) + \sin 2nT(B^2 - A^2) \pm 4AB \sin^2 nT]}$$

APENDICE E

CALCULO DEL VALOR RMS DE LA ECUACION:

$$y = A' * (B' * \sin n\theta - C' \cos n\theta) + A'' * (B'' * \sin \theta + C'' * \cos \theta)$$

se observa que es una ecuación similar a la anterior por lo que se separa en dos partes y realizando un análisis similar se tiene por resultado:

$$y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{4nT} [2nT(A'^2 + B'^2) + \sin 2nT(B'^2 - A'^2) - 4A'B' \sin^2 nT]} +$$

$$+ \sqrt{\frac{1}{4nT} [2nT(A''^2 + B''^2) + \sin 2nT(B''^2 - A''^2) - 4A''B'' \sin^2 nT]}$$

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

- 1.- KRAUSE P., "Analysis of Electric Machinery", McGraw-Hill Book Company, New York 1986.
- 2.- FITZGERALD A.E. , KINGSLEY C.H., KUSCO A.. " Teoría y Análisis de las Máquinas Eléctricas", Ed Hispano Europea Barcelona 1980.
- 3.- ENRIQUEZ HARPER G., " Curso de Máquinas Síncronicas", Ed. Limusa, México 1983.
- 4.- KOSOW IRVING L., "Máquinas Eléctricas y Transformadores", Reverte S.A., Barcelona, 1980.
- 5.- KOCH W.H., NASAR S.A., "A New Two- Phase Reluctance Generator For DC Loads", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, No.5, September/October 1974.
- 6.- KOCH W.H., NASAR S.A., "Reluctance DC Generator With Feedback and Damper Loop for Output Enhancement", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, No.6, November/December 1975.
- 7.- UNNEWEHR L.E., KOCH W.H. " A Axial Air-Gap Reluctance Motor for Variable Speed Applications", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS- No. ,1973

- 8.- ONG C.M., LIPO T.A. " Steady-State Analysis of a Current Source Inverter/Reluctance Motor Drive Part I: Analysis". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96 No.4, July/ August,1977
- 7.- SELBY S.M., "Abridged Mathematical Tables", Ohio Ed. 14, 1968
- 8.- AYRES F.JR., "Teoría y Problemas de Ecuaciones Diferenciales", McGraw-Hill, México, 1979
- 9.- EDMINISTER J.A., "Teoría y Problemas de Circuitos Eléctricos", McGraw-Hill, Colombia, 1982
- 10.- TOINGA V. E., "Prototipo de un Generador de Reluctancia", EPN, Quito 1985.
- 11.- FRANK E., "Análisis de Medidas Eléctricas", 1980