

**Reporte de Investigación
2007-17**

Desempeño en Régimen Estacionario de Máquinas de Inducción para Aplicación en Aerogeneradores

Responsable: Francisco M. Gonzalez-Longatt

Supervisor: Francisco M. González-Longatt



Línea de Investigación:
**Fuentes Alternas de Energía
y
Generación Distribuida**



Junio 2007

Motivación

El presente reporte de investigación muestra el desempeño en régimen estacionario algunas máquinas de inducción de jaula simple de ardilla, que son de uso común en aplicación de aerogeneradores con turbinas de viento de velocidad fija.

Para propósito de este documento se han escogido cuatro máquinas de inducción, que son reconocidas en la literatura, por su aplicación. Un simple examen de las principales variables operativas de la máquina fue efectuado a fin de establecer el comportamiento en régimen estacionario de estas maquinas de inducción de jaula de ardilla, tanto en modo como motor, como en el caso de generador. Para el calculo de los puntos operativos se empleo el programa CurvasREMI, desarrollado en Matlab™ por el Prof. Francisco M. Gonzalez-Longatt.

A manera informativa se efectuó el trazado de las curvas características de ciertas variables asociadas a la máquina de inducción.

Resultados

Datos

A fin de este reporte de investigación se esta interesado en el desempeño en régimen estacionario de las variables asociadas a máquina de inducción de jaula de ardilla, que son de aplicación típica en sistemas de conversión de energía del viento. Se han considerado cuatro (04) máquinas de inducción de jaula simple de ardilla:

- *Máquina #1*: Se trata de una máquina de 350 kVA, 660 V, 60 Hz, para turbinas de viento de velocidad constante, en operación paralela en a la red, y que es presentada en el artículo:

[1] Rajesh G. Kavasseri, "Steady State Analysis of an Induction Generator Infinite Bus System" (Paper no: 409 - 084)", *accepted for the Third IASTED International Conference on Power and Energy Systems* (EuroPES 2003).

- *Máquina #2*: Corresponde a una máquina de simple jaula de ardilla de 330 kVA, 660 V, 50 Hz, que es típica en aplicaciones de turbinas de viento de velocidad constante en conexión paralela a la red en Europa, y que es presentada en el artículo:

[2] Andres E. Feijoo and Jose Cidras. "Modeling of Wind Farms in the Lad Flow Analysis". *IEEE Transaction on Power Systems*. Vol. 15, No. 1, February, 2000.

- *Máquina #3*: Se trata de una máquina de 1.5 MVA, 545 V, 60 Hz, para turbinas de viento de velocidad constante, en operación paralela en a la red. Esta máquina ha sido ampliamente aplicada como caso de estudio en el caso de Hydro-Quebec, y en particular es mostrado en el demo del novedoso Matlab™ R 2006a:

[3] Richard Gagnon (Hydro-Quebec). "Operation of Induction Generators (IG) Driven by Variable-Pitch Wind Turbines". *Getting Started Demos of Matlab™ R2006a*.

- *Máquina #4*: Corresponde a una máquina de inducción de 2MVA, 1000 V, 50 Hz, para turbinas de viento. Esta máquina ha sido empleado en mutiles artículos científicos, tanto como máquina de inducción de jaula de ardilla en paliación de turbinas de viento de velocidad constante como en el caso de máquina de inducción doblemente alimentada en turbinas de viento de velocidad variable. Esta máquina ha sido reportada en muchísimos artículos, y aquí se muestran dos de las referencias fuentes más relevantes:

[4] Thomas Ackermann. *Wind Power in Power System*. John Wiley & Sons, Ltd. England, 2005.

[5] Slootweg J.G. "Modeling Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations." *PhD Thesis on Delft University of Technology*. Netherland, 2003.

En la Tabla 1 se muestra un sumario de los parámetros asociados a las maquinas de inducción consideradas en este reporte de investigación y cuyo desempeño en régimen estacionario será evaluado.

Tabla 1. Datos de la Máquina de Inducción de Simple Jaula de Ardilla

Símbolo	Descripción	Máquina 1 [1]	Máquina 2 [2]	Máquina 3 [3]	Máquina 4 [4]-[5]
V_{nom}	Voltaje Nominal	0.66 kV	660 V	545 V	1000 V
S_{nom}	Potencia Nominal	350 kVA	330 kVA	1.5 MVA	2 MVA
f	Frecuencia Nominal	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz
R_s	Resistencia del Estator	0.00571 p.u	0.00708 p.u	0.004843 p.u	0.01 p.u
R_r	Resistencia del Rotor.	0.00612 p.u	0.00759 p.u	0.004377 p.u	0.01 p.u
X_r	Reactancia del Rotor	0.06390 p.u	0.23289 p.u	0.1791 p.u	0.08 p.u
X_s	Reactancia del Estator	0.18780 p.u	0.07620 p.u	0.1248 p.u	0.10 p.u
X_m	Reactancia Magnetizante.	2.78000 p.u	3.44979 p.u	3.77 p.u	3.00 p.u
H	Constante de Inercia	3.02500 s	3.0 s	0.5 s	0.50 s

Simulación

A fin de evaluar el desempeño en régimen estacionario de las variables asociados a la máquina de inducción de jaula de ardilla, cuyos datos se muestran en la Tabla 1, se empleo el conocido programa CurvasREMI. Este programa emplea el modelo de Steinmetz de la maquina de inducción (despreciando la resistencia de magnetización), para efectúa el calculo de las variables asociadas a la máquina.

CurvasREMI, efectúa todos los cálculos en el sistema por unidad a voltaje nominal (a menos que se indique lo contrario).

Al ejecutar el programa desde el workspace de Matlab™, este inicialmente solicita la introducción de los parámetros básicos de la máquina (reactancias y resistencias) en el sistema por unidad referidos todos éstos a los valores bases de los datos nominales de la placa de la máquina los cuales son también solicitados (capacidad nominal S_{nom} , Voltaje nominal V_n , frecuencia f , y numero de pares de polos pf).

El programa procede a efectuar el cálculo de variables de interés en la máquina de inducción. Inicialmente muestra en pantalla un reporte de aspectos generarles de interés, como el torque nominal de la máquina (T_{nom}) en [N-m] y el cual es tomado como base para los restantes cálculos mecánicos en la máquina, y se toma este como el torque base (T_{base}).

Otros puntos importantes de la operación de la máquina de inducción son mostrados, tal como el torque máximo, tanto en operación como generador como motor (T_{max1} y T_{max2} respectivamente) y los torques a los cuales ocurren (ver Figura 2) (s_{max1} y s_{max2} respectivamente).

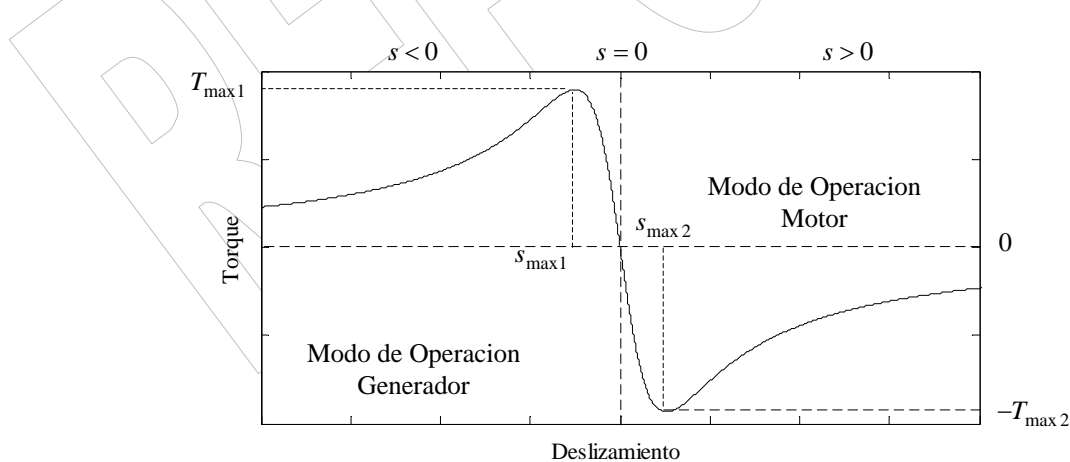


Figura 1. Curva de Torque en la Máquina de inducción, mostrando los puntos extremos de la curva, para los dos modos posibles de operación: motor y generador

De igual modo, entrega los valores de deslizamiento en por unidad, referidos a la base de velocidad mecánica en rad/g (ω_{mec}).

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

En la Figura 2, se reproduce la pantalla del programa CurvasREMI, y el reporte de resultados que se obtienen en este.

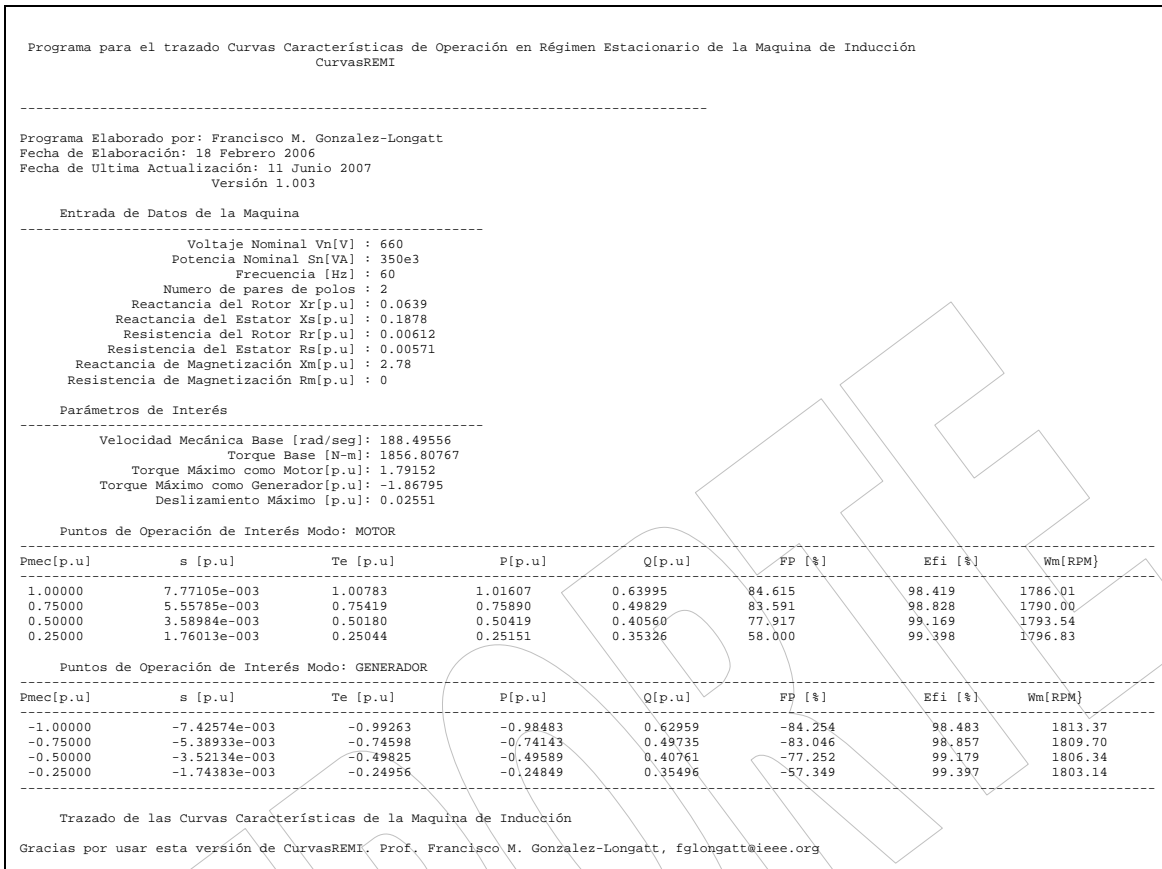


Figura 2. Copia de Resultados en Pantalla de CurvasREMI para la Máquina # 1[1].

El programa CurvasREMI, fue empleado para evaluar inicialmente algunos valores extremos de la operación de las máquinas de inducción consideradas, los resultados se agrupan en la Tabla 2.

Tabla 2. Puntos de Interés de Máquina de Inducción de Simple Jaula de Ardilla

Símbolo	Descripción	Máquina 1 [1]	Máquina 2 [2]	Máquina 3 [3]	Máquina 4 [4]-[5]
T_{base}	Torque Nominal [N-m]	1856.80	1750.70	7957.74	10610.32
T_{max1}	Torque máximo, motor [p.u]	1.79152	1.24626	1.53860	2.51188
T_{max2}	Torque máximo, generador [p.u]	-1.86795	-1.92603	-1.58586	-2.79245
$s_{max1,2}$	Deslizamiento al que ocurre el torque máximo [p.u]	0.02551	0.02401	0.01459	0.05648
I_{rb}	Corriente de rotor bloqueado [p.u]	3.991	3.285	3.379	5.586
$s_{nom,mot}$	Deslizamiento a Corriente nominal, motor [p.u]	0.0062	0.0078	0.004359	0.0097
$s_{nom,gen}$	Deslizamiento a Corriente nominal, generador [p.u]	-0.0061	-0.0068	-0.004300	-0.0095
I_0	Corriente en Vacío [p.u]	0.3369	0.2836	0.2568	0.3226

Inicialmente se ha de observar que para todas las máquinas de inducción se jaula de ardilla consideradas el torque máximo en el modo de motor y como generador son diferentes, lo que delata que la curvas de torque versus deslizamiento no es simétrica respecto al origen, situación fácilmente demostrable con la Figura 3.

De hecho, se puede observar que el torque máximo en operación como motor es menor que el alcanzado cuando las máquinas operan como generador. En las máquinas consideradas como pequeñas #1, 350 kVA y #2, 330 kVA, el deslizamiento al que se logra el máximo torque es mucho más bajo que la máquina considerada como grande #4, 2MW, sin embargo la máquina #3 exhibe un bajo deslizamiento. En consideración a esto se puede demostrar que la máquina #3 posee la menor curva de toque (en por unidad referido a los valores de placa) y de hecho es la más aguda; es decir, ésta máquina limita su operación

normal en condiciones de régimen estacionario a un deslizamiento pequeño por debajo de 1%. Las máquinas consideradas como pequeñas, máquinas #1 y #2, poseen curvas de toque similares, aunque una mayor asimetría entre los valores extremos de torque en ambos modos es logrado con la máquina de 330 kVA, 660 V, máquina #2.

La máquina que posee la mayor curva de torque es la máquina #4 de 2MW, que posee el mayor pico que se alcanza en el mayor deslizamiento de todas las máquinas, lo que permite inferir que esta máquina esta diseñada y permite una operación en una regulación de velocidad más amplia.

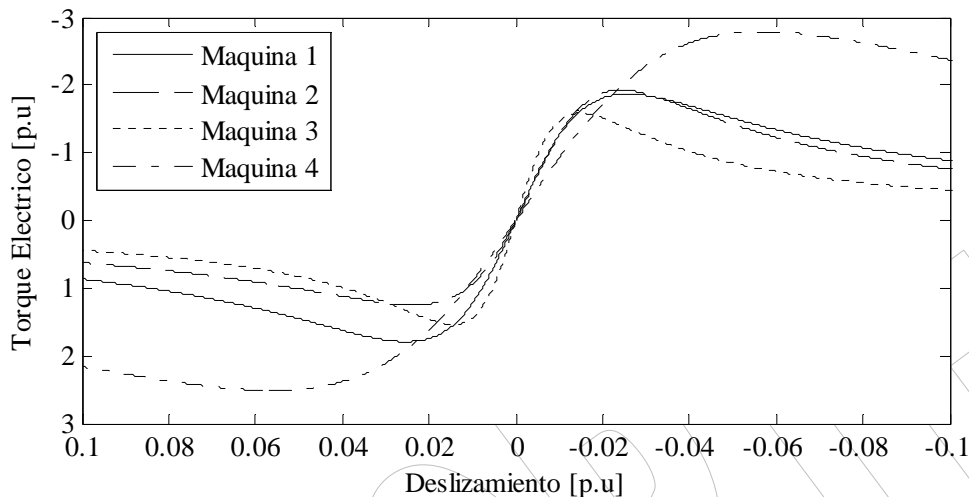


Figura 3. Curva Característica de Torque versus Deslizamiento para las diferentes maquinas para la zona de $\pm 10\%$ de deslizamiento

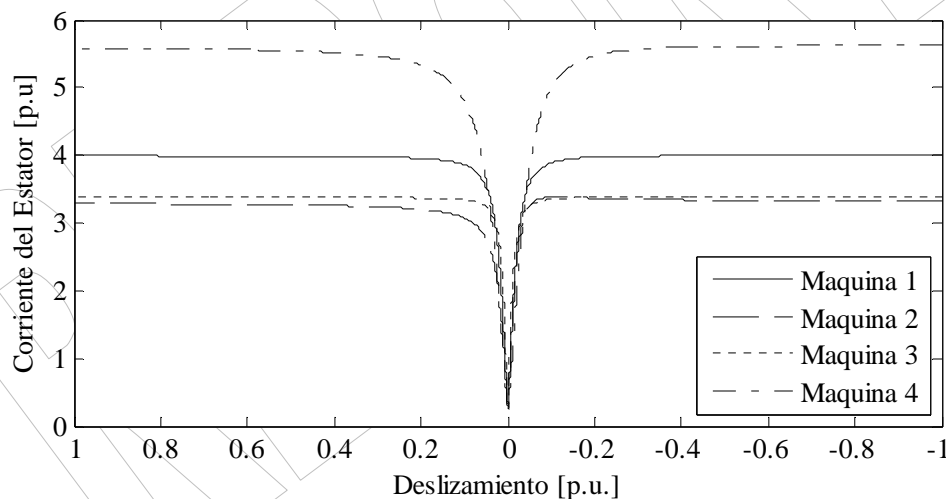


Figura 4. Curva Característica de Corriente del Estator versus Deslizamiento para las diferentes maquinas para la zona de $\pm 100\%$ de deslizamiento

Por otra parte, en la Tabla 2, se resume los valores de corriente de rotor bloqueado ($s = 1.0$ p.u.) de las máquinas consideradas, mostrándose que la máquina de mayor capacidad (#4, 2MW), es la que posee mayor corriente de rotor bloqueado, sin embargo sorprende que la máquina #1, 350 kVA sea la segunda con mayor valor. En la Figura 4, se ha efectuado el trazado de la corriente del estator versus el deslizamiento, para todas las máquinas consideradas en todos los posibles modos de operación partiendo de la condición de rotor bloqueado, se muestra la evidente superioridad en manejo de corriente de la máquina de mayor tamaño.

Por otra parte, al contrastar el deslizamiento al cual logran la corriente nominal ($I_s = 1.0$ p.u) se muestra que los deslizamientos en el modo de motor son siempre mayores que los asociados a al operación como generador en las máquinas consideradas. La máquina de mayor tamaño (#4 2MW) es la que experimenta un mayor deslizamiento de todas, para alcanzar la corriente nominal mientras que la máquina #3, 1.5 MW es

la que requiere menor deslizamiento, esto es coincidente con el comentario que se hizo, sobre el hecho de que esta máquina está diseñada para una operación a deslizamientos más bajos.

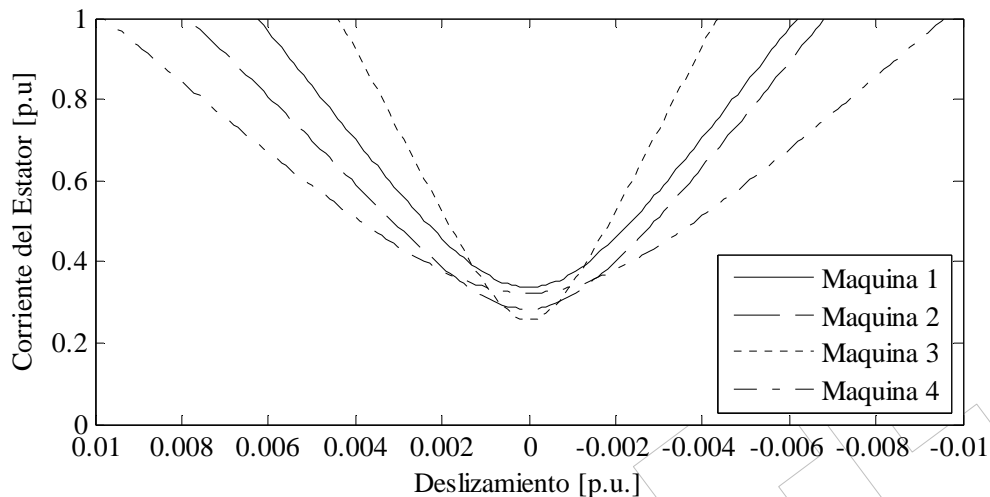


Figura 5. Detalle de la Curva Corriente del Estator versus Deslizamiento para las diferentes para la región de vacío a plena carga

Se puede examinar la corriente de vacío, (detalle Figura 5), y se observa que la máquina #3 de 1.5MW, es la que experimenta la menor corriente de vacío (0.2568 p.u), mientras que sorpresivamente la máquina #1 de 350 kVA es la que posee la mayor corriente de vacío (0.3369 p.u).

A fin de evaluar en una forma más amplia el comportamiento de las máquinas de inducción de jaula de ardilla consideradas, se procedió a calcular usando el programa CurvasREMI, los valores de las principales variables de la máquina: s : deslizamiento, T_e : torque eléctrico, P_{elec} : potencia activa, Q_{elec} : potencia reactiva, FP : factor de potencia, η : eficiencia y velocidad, para varios puntos de operación.

En las Tablas 3-8 se han resumido los resultados para varias condiciones de potencia mecánica (P_{mec}) aplicadas en el eje: 25, 50, 75 y 100%. Considerando la operación como motor y en forma de generador. NOTA: en modo de operación como generador se ha considerado la potencia negativa, debido a que se asume que sale de los terminales de la máquina, y el deslizamiento es negativo (mayor a la velocidad sincrónica).

Tabla 3. Puntos Característicos de Operación como MOTOR para la Máquina #1, 350 KVA, 660 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	7.77105e-003	1.00783	1.01607	0.63995	84.615	98.419	1786.01
0.75	5.55785e-003	0.75419	0.75890	0.49829	83.591	98.828	1790.00
0.50	3.58984e-003	0.50180	0.50419	0.40560	77.917	99.169	1793.54
0.25	1.76013e-003	0.25044	0.25151	0.35326	58.000	99.398	1796.83

Tabla 4. Puntos Característicos de Operación como GENERADOR para la Máquina #1, 350 KVA, 660 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	-7.42574e-003	-0.99263	-0.98483	0.62959	-84.254	98.483	1813.37
0.75	-5.38933e-003	-0.74598	-0.74143	0.49735	98.857	98.829	1809.70
0.50	-3.52134e-003	-0.49825	-0.49589	0.40761	-77.252	99.179	1806.34
0.25	-1.74383e-003	-0.24956	-0.24849	0.35496	-57.349	99.397	1803.14

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

Tabla 5. Puntos Característicos de Operación como MOTOR para la Máquina #2, 330 kVA, 660 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	1.15249e-002	1.01166	1.13956	0.71269	84.784	87.753	1779.26
0.75	7.33810e-003	0.75554	0.81913	0.47657	86.436	91.561	1786.79
0.50	4.43513e-003	0.50223	0.53102	0.35309	83.272	94.159	1792.02
0.25	2.07566e-003	0.25052	0.26150	0.29439	66.410	95.603	1796.26

Tabla 6. Puntos Característicos de Operación como GENERADOR para la Máquina #2, 330 kVA, 660 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	-7.59281e-003	-0.99246	-0.90646	0.62698	-82.243	90.646	1813.67
0.75	-5.64669e-003	-0.74579	-0.69506	0.48312	82.113	92.675	1810.16
0.50	-3.78244e-003	-0.49812	-0.47214	0.37941	77.950	94.428	1806.81
0.25	-1.92398e-003	-0.24952	-0.23856	0.31285	-60.636	95.424	1803.46

Tabla 7. Puntos Característicos de Operación como MOTOR para la Máquina #3 1.5 MVA, 545 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	5.39024e-003	1.00542	1.01228	0.62557	85.067	98.787	1790.30
0.75	3.78061e-003	0.75285	0.75660	0.44989	85.952	99.128	1793.19
0.50	2.41745e-003	0.50121	0.50299	0.33852	82.961	99.405	1795.65
0.25	1.17978e-003	0.25030	0.25097	0.27636	67.228	99.613	1797.88

Tabla 8. Puntos Característicos de Operación como GENERADOR para la Máquina #3, 1.5 MVA, 545 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	-5.18406e-003	-0.99484	-0.98830	0.61259	-84.996	98.830	1809.33
0.75	-3.68697e-003	-0.74724	-0.74360	0.44738	-85.687	99.146	1806.64
0.50	2.38077e-003	-0.49881	-0.49706	0.33936	-82.587	99.412	1804.29
0.25	-1.17121e-003	-0.24971	-0.24903	0.27741	-66.802	99.614	1802.11

Tabla 7. Puntos Característicos de Operación como MOTOR para la Máquina #4, 2MVA, 545 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	1.14805e-002	1.01161	1.02483	0.52131	89.131	97.577	1779.34
0.75	8.38069e-003	0.75634	0.76402	0.42973	87.159	98.165	1784.91
0.50	5.47379e-003	0.50275	0.50667	0.36797	80.913	98.683	1790.15
0.25	2.69631e-003	0.25068	0.25242	0.33291	60.419	99.041	1795.15

Tabla 8. Puntos Característicos de Operación como GENERADOR para la Máquina #4, 2MVA, 545 V

P_{mec} [p.u]	s [p.u]	T_e [p.u]	P_{elec} [p.u]	Q_{elec} [p.u]	FP [%]	η [%]	Velocidad [rpm]
1.00	-1.07336e-002	-0.98938	-0.97716	0.51665	-88.404	97.716	1819.32
0.75	-7.98495e-003	-0.74406	-0.73676	0.43238	-86.245	98.235	1814.37
0.50	-5.30485e-003	-0.49736	-0.49354	0.37242	-79.824	98.708	1809.55
0.25	-2.65505e-003	-0.24934	-0.24760	0.33589	-59.336	99.039	1804.78

Las tablas se han incluido para cualquier lector que desea contrastar la operación de manera cuantitativa de cualquiera de las máquinas en las condiciones antes descritas de operación. Estos resultados son logrados desde los reportes de salida del programa curvasREMI. De igual modo, el programa curvasREMI, efectúa

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

el trazado grafico de las variables en régimen estacionario de la máquina de inducción versus el deslizamiento, desde el rotor bloqueado pasando por el modo motor hasta generador de la maquina. En las Figuras 6 a 9, se recoge el trazado de las curvas características de las máquinas consideradas versus el deslizamiento de: potencia activa, potencia reactiva, corriente del estator, y factor de potencia. En todos los casos, las curvas han sido calculadas a voltaje nominal en el estator, y se han mostrado solo para una región de regulación del deslizamiento de $\pm 10\%$.

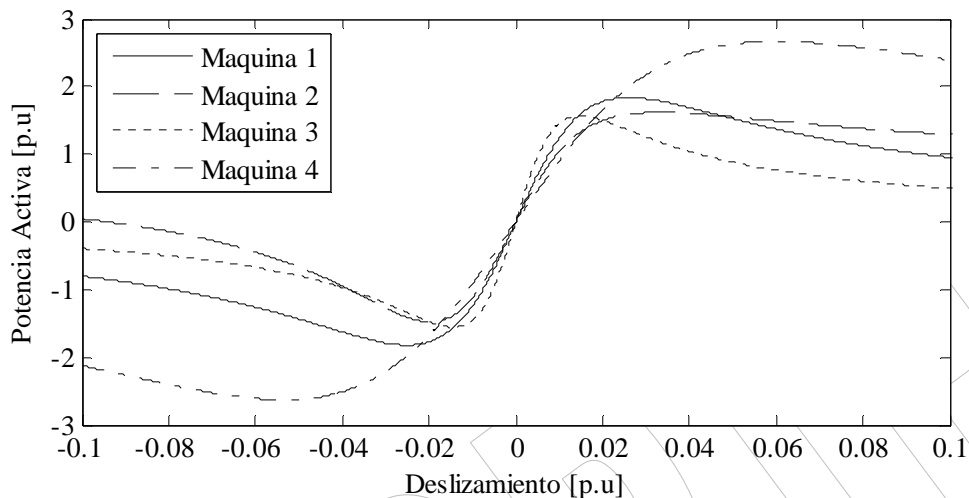


Figura 6. Curva Característica Potencia Eléctrica versus Deslizamiento para las diferentes Máquinas para la zona de $\pm 10\%$ de deslizamiento

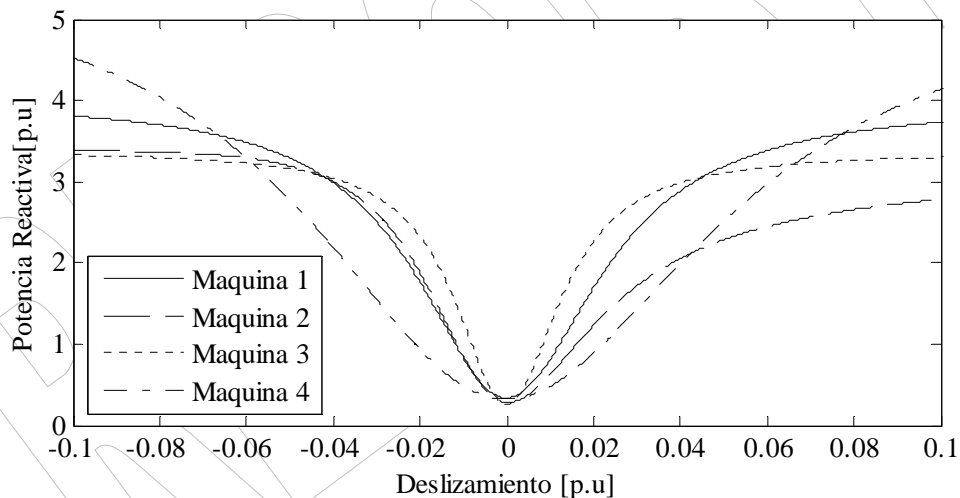


Figura 7. Curva Característica de la Potencia Reactiva versus Deslizamiento para las diferentes máquinas para la zona de $\pm 10\%$ de deslizamiento

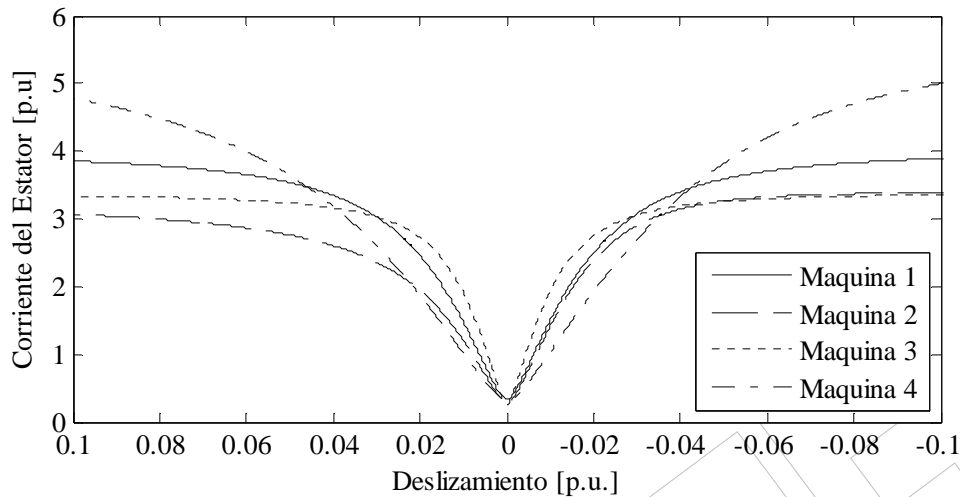


Figura 8. Curva Característica de Corriente del Estator versus Deslizamiento para las diferentes maquinas para la zona de $\pm 10\%$ de deslizamiento

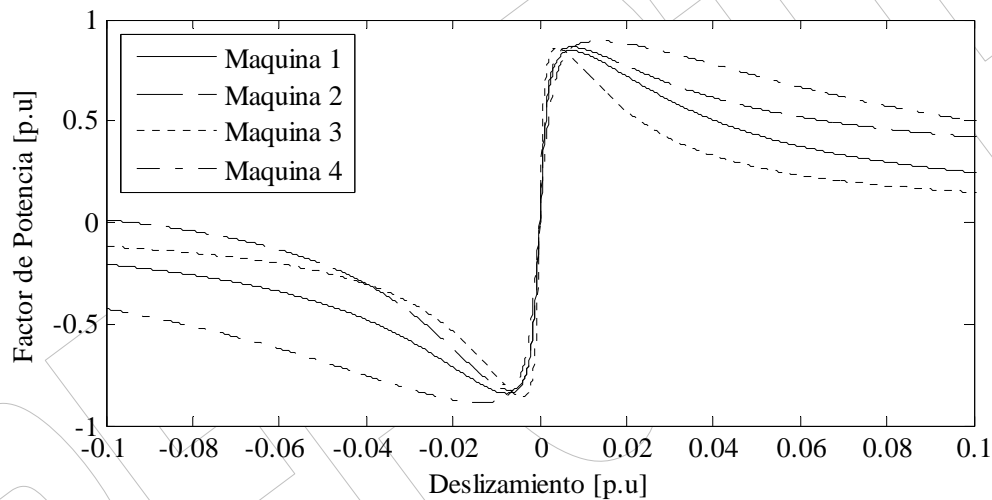


Figura 9. Curva Característica del Factor de Potencia versus Deslizamiento para las diferentes máquinas para la zona de $\pm 10\%$ de deslizamiento

Especial mención merece el hecho de que la máquina de inducción de jaula de ardilla funcionando en el modo de generador, posee un límite estático de estabilidad de la potencia activa máxima que puede entregar. Este límite es impuesto por el máximo valor de torque electromagnético que puede ser desarrollado por la máquina en su operación (ver Figura 10). El valor de éste límite de potencia eléctrica máxima es mostrado en la Tabla 9, con el respectivo torque al que se alcanza. Sin embargo, hay que advertir que este límite rara vez es alcanzado en forma estática, debido a que la máquina de inducción de jaula de ardilla operando en modo de generación requiere un suministro de potencia reactiva, lo cual hace que primero se alcance el límite de capacidad (Volt-Amperes), antes que se logre el límite de potencia activa.

Tabla 9. Puntos Característicos de Potencia Activa y Reactiva para las máquinas de inducción consideradas

Símbolo	Descripción	Maquina 1 [1]	Maquina 2 [2]	Maquina 3 [3]	Maquina 4 [4]-[5]
$P_{elec,max}$	Potencia Electrica Maxima, generador [p.u]	-1.822	-1.481	-1.558	-2.63
s_{max}	Deslizamiento para $P_{elec,max}$ [p.u]	-0.025	-0.0196	-0.0143	-0.0544
Q_0	Potencia reactivo en vacío [p.u]	0.3369	0.2835	0.2568	0.3226

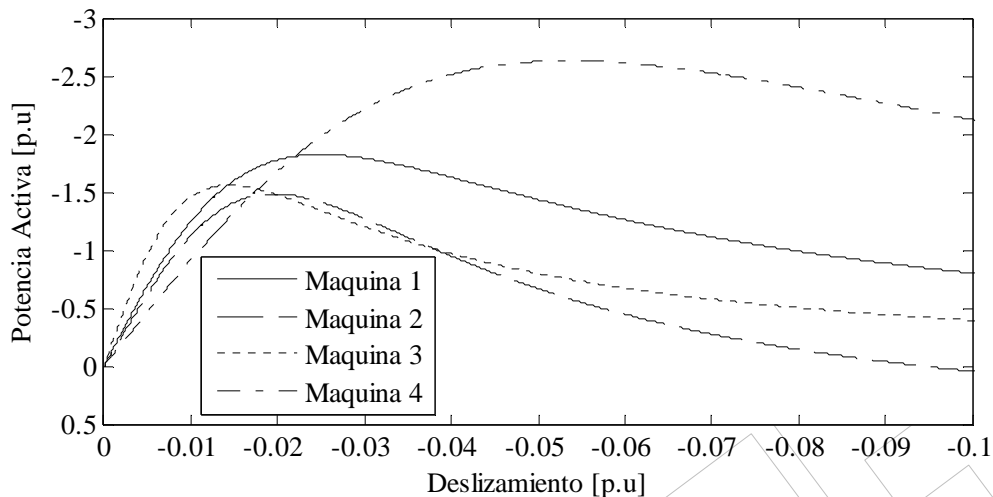


Figura 10. Detalle Potencia Eléctrica Generada versus Deslizamiento para las diferentes máquinas

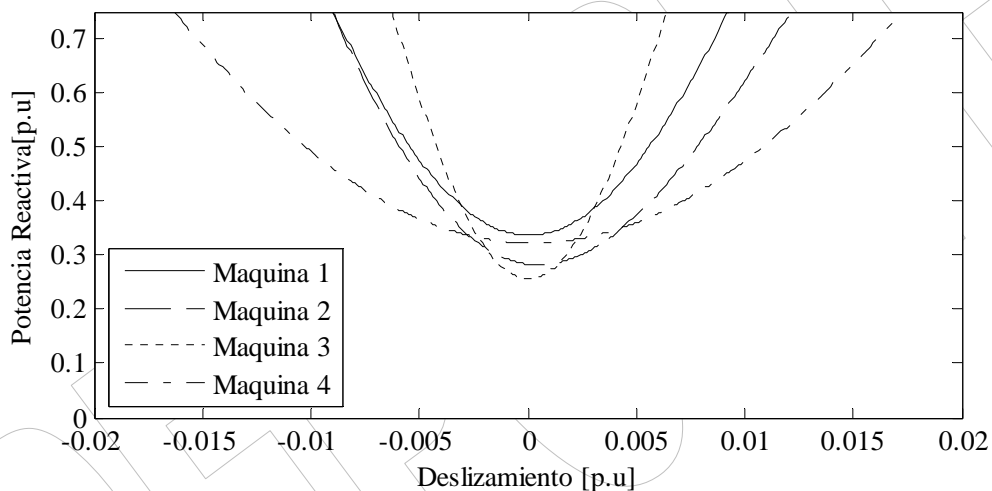


Figura 11. Detalle Potencia Reactiva Generada versus Deslizamiento para las diferentes máquinas

La máquina de inducción de jaula de ardilla, en modo de operación como generador tiene requisitos de consumo de potencia reactiva (Q_{elec}) que aumentan conforme aumenta la potencia activa generada y el deslizamiento. En vacío estas máquinas poseen un consumo de potencia reactiva (Q_0), cuyo valor es necesario para reflejar la necesidad de compensación local de potencia reactiva. En la Tabla 9, se muestra que los menores requerimientos de potencia en reactivo para las diferentes máquinas, donde la máquina #3 de 1.5 MW registra los menores valores, mientras que la máquina #1 de Kavasseri [1], 350 kVA, 660 V, requiere los valores más altos de reactivo en vacío.

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

Conclusiones

En este reporte de investigación se ha mostrado en líneas generales el desempeño en régimen estacionario de las variables principales asociadas a la operación de cuatro máquinas de inducción, de jaula simple de ardilla, que son consideradas de uso de uso común en aplicación de aerogeneradores con turbinas de viento de velocidad fija; según lo que la literatura reporta.

Máquinas consideradas de baja potencia 330 kVA, 350 kVA, y otras de gran capacidad 1.5 MW y 2.0 MW, han sido examinadas, en igual proporción en frecuencias de 50 y 60 Hz.

El examen de las principales variables operativas en régimen estacionario fue efectuado con el programa CurvasREMI, desarrollado en Matlab™ por el Prof. Francisco M. Gonzalez-Longatt.

Resultados para algunos puntos de operación muy particulares son mostrados en forma de tablas donde se refleja algunos puntos operativos de éstas máquinas de inducción de jaula de ardilla, tanto en modo como motor, como en el caso de generador. Con ayuda de CurvasREMI se han construido curvas del comportamiento de las principales variables operativas de las máquinas de inducción consideradas versus deslizamiento.

Este reporte de información persigue colocar a la disposición parámetros y un resumen del desempeño en régimen estacionario de cuatro máquinas de inducción de simple jaula de ardilla típicas de la ampliación en aerogeneradores con turbina de viento de velocidad constante.

A manera de anexo se han incluido un compendio de curvas donde se incluye el efecto de la variación en voltaje en terminales de la máquina.

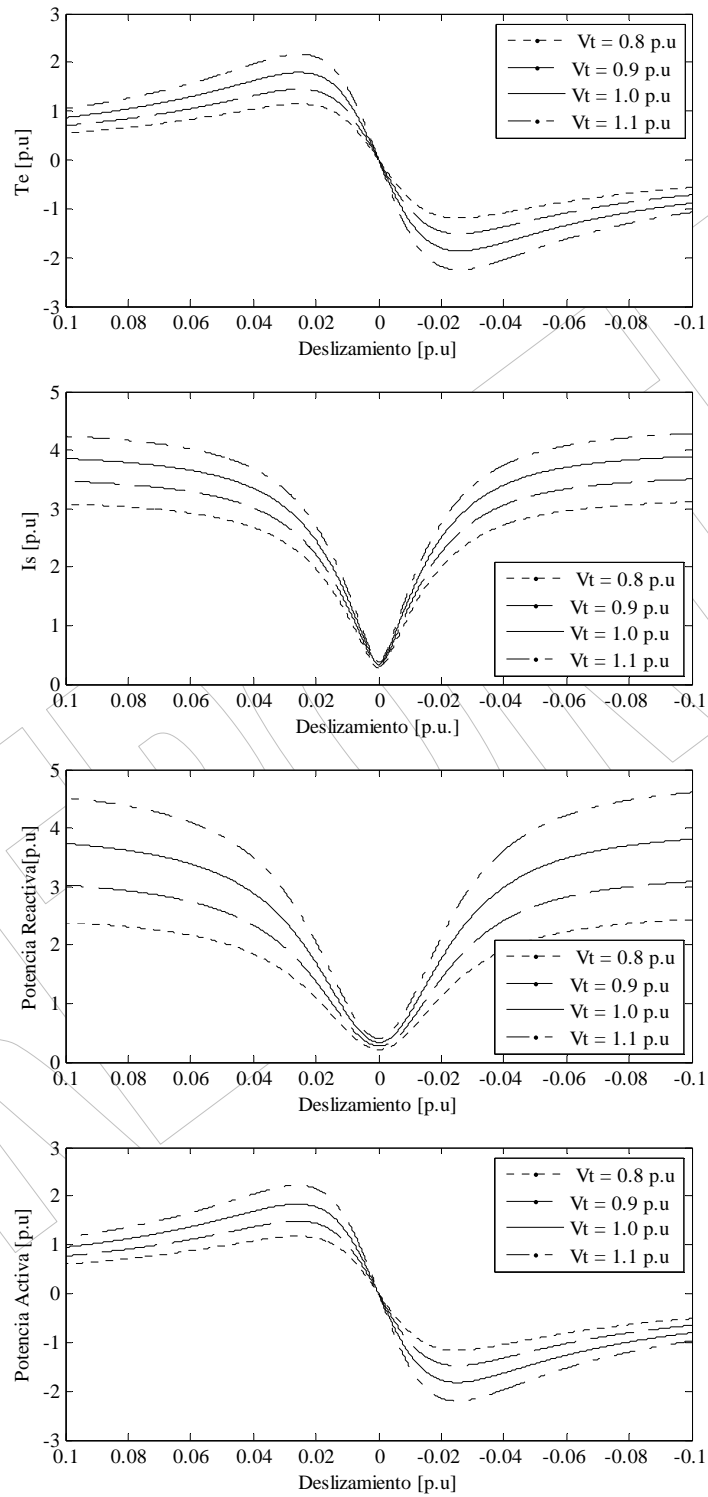
Referencias Documentales

- [1] Rajesh G. Kavasseri, "Steady State Analysis of an Induction Generator Infinite Bus System" (Paper no: 409 - 084)", *accepted for the Third IASTED International Conference on Power and Energy Systems (EuroPES 2003)*.
- [2] Andres E. Feijoo and Jose Cidras. "Modeling of Wind Farms in the Lad Flow Analysis". *IEEE Transaction on Power Systems*. Vol. 15, No. 1, February, 2000.
- [3] Richard Gagnon (Hydro-Quebec). "Operation of Induction Generators (IG) Driven by Variable-Pitch Wind Turbines". Getting Started Demos of Matlab™ R2006a.
- [4] Thomas Ackermann. *Wind Power in Power System*. John Wiley & Sons, Ltd. England, 2005.
- [5] Slootweg J.G. "Modeling Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations." *PhD Thesis on Delft University of Technology*. Netherland, 2003.

REPORTE

Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

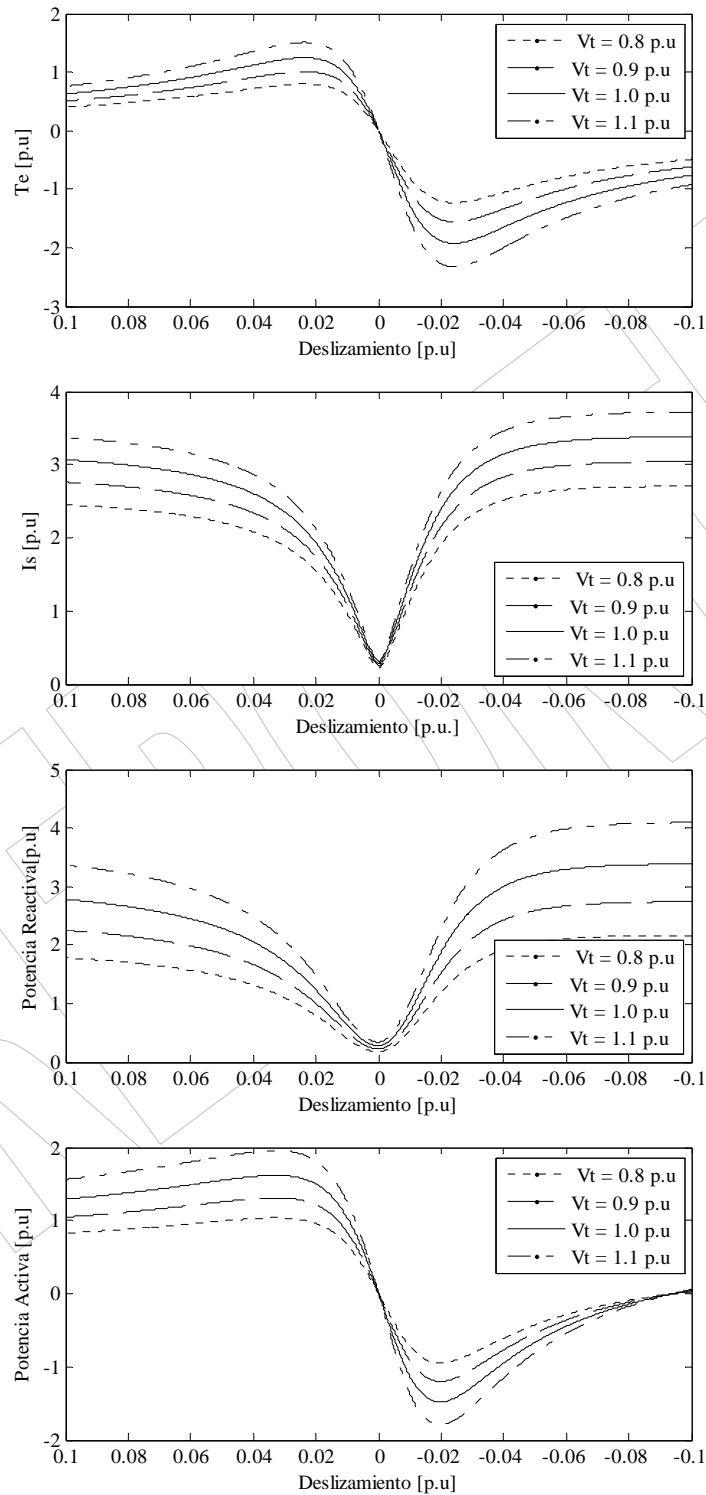
Anexo A. Curvas Características de la Máquina #1 350 kVA, 660 V, 60 Hz. Kavasseri [1]



Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

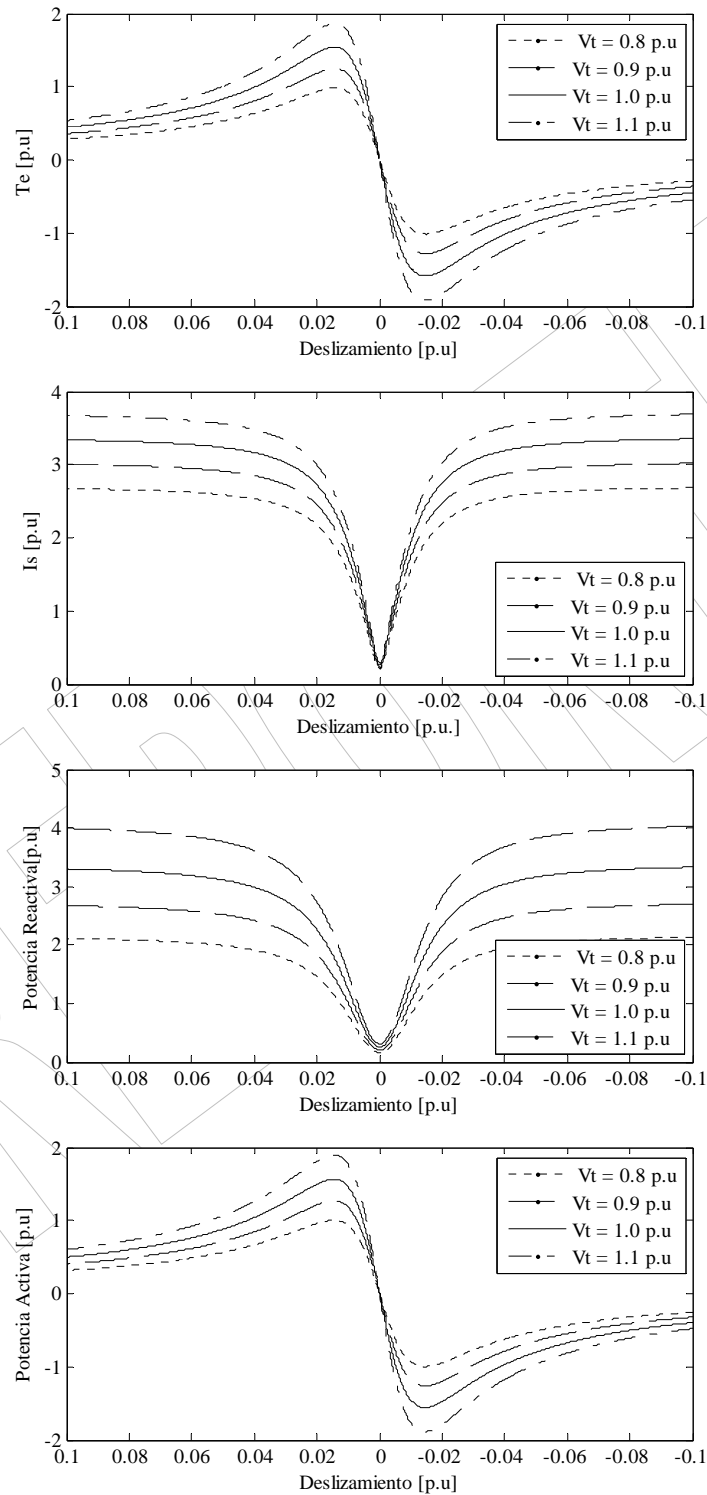
Anexo B. Curvas Características de la Máquina #3

330 kVA, 660 V, 50 Hz. Feijoo & Cidras [2]



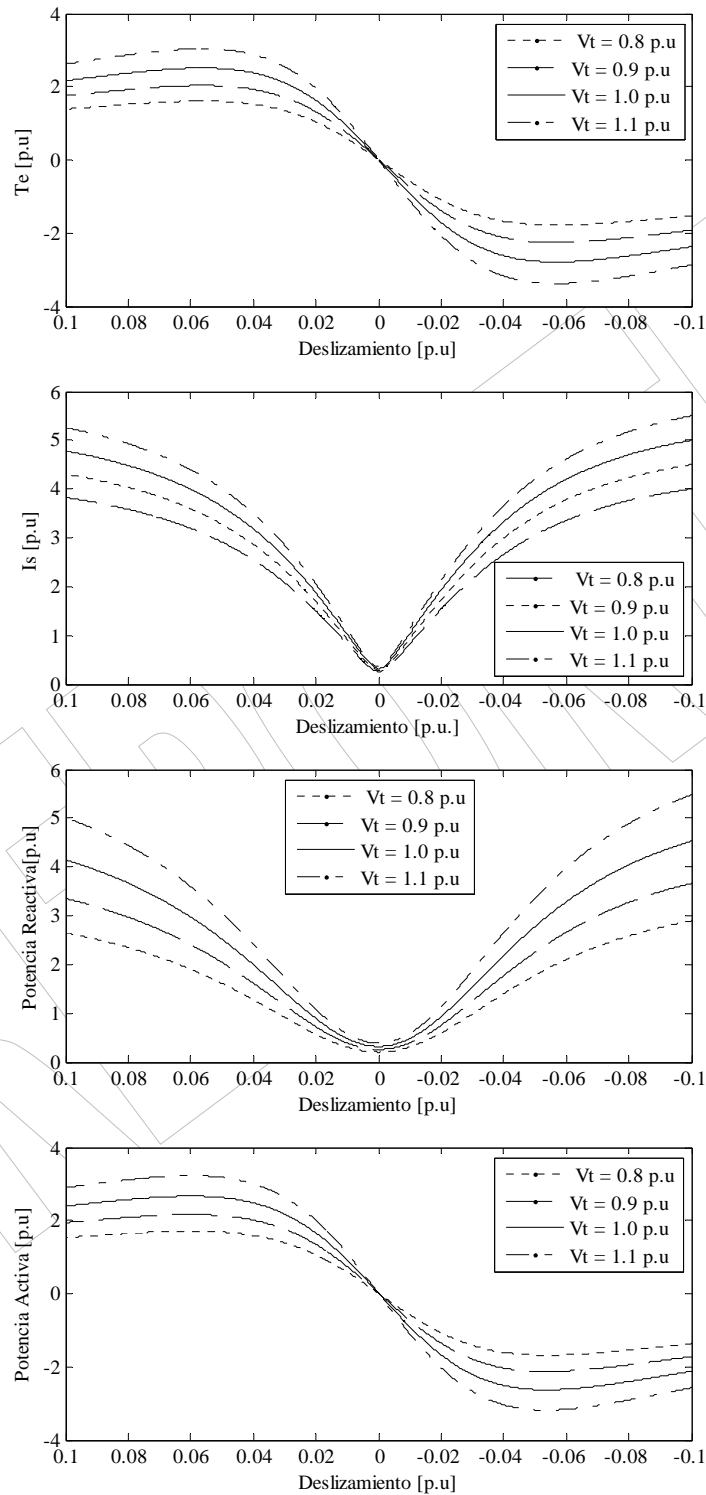
Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

Anexo C. Curvas Características de la Máquina #3 1.5MW, 545 V, 60 Hz [3]



Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.

Anexo D. Curvas Características de la Máquina #3 2.0MW, 1000 V, 50 Hz [4]-[5]



Solo para ser empleado con objetivo de evaluación, o académicos. Prohibido la reproducción total o parcial de este documento sin consentimiento de los autores. Copyright © 2007.