

Desarrollo de programas computacionales basados en scripts empleados en la enseñanza y aprendizaje de las Máquinas de Inducción

J. M. Díaz-Chacón¹, V. Mata-Brauer¹, C. Amaro¹, A. Navarro¹
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California UABC

Resumen— En este artículo se presenta el desarrollo de programas computacionales basados en scripts, empleados en la enseñanza y aprendizaje de las Máquinas de Inducción. Estos programas se desarrollan y ejecutan sobre dos plataformas de programación: MATLAB y Octave. Las formulaciones matemáticas implementadas en los programas se basan en el contenido del curso de Máquinas de Inducción, impartido en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Baja California. Como ejemplos didácticos se desarrollan cuatro programas para analizar varios casos de estudio seleccionados de referencias reconocidas en la Ingeniería Eléctrica. Los códigos de los programas y los resultados obtenidos en la ejecución de los mismos se muestran en este trabajo. El desarrollo de programas computacionales basados en scripts muestra ser confiable y útil como herramienta adicional en el proceso enseñanza-aprendizaje de las Máquinas de Inducción.

Temas claves— Educación basada en competencias, máquinas de inducción, MATLAB, Octave, programación computacional.

Abstract— In this paper is presented the development of computer programs based on scripts, employed in teaching and learning of Induction Machines. These programs are developed and executed on two programming platforms: MATLAB and Octave. The mathematical formulations implemented in the programs are based on the content of the Induction Machines course, which is taught in the Faculty of Engineering – Autonomous University of Baja California. As teaching examples, four programs are developed for analyzing several cases of study selected from recognized references by Electrical Engineering. Both program codes and the results obtained by the execution of the same are shown in this work. The development of computer programs based on scripts shows to be reliable and useful as an additional tool for teaching-learning process of Induction Machines.

Keywords— Competency-based education, computer programming, induction machines, MATLAB, Octave.

I. INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología ha impactado, de manera considerable, diversas áreas de la vida cotidiana como el área educativa. La innovación en las metodologías de la enseñanza en la educación basada en competencias ha concebido, de forma natural, el uso de herramientas didácticas de vanguardia tales como las tecnologías computacionales. Hoy en día, el uso de estas tecnologías en la enseñanza se ha convertido en una práctica predominante en la mayor parte de los sistemas y niveles educativos del país. En el área de la ingeniería, la incorporación de herramientas didácticas computacionales ha demostrado ser favorable en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes [1].

Una de las principales metodologías empleadas para la adquisición de conocimientos relacionados con la ingeniería es el desarrollo de software empleando lenguajes de alto nivel tales como C, C++, Python, Java y Fortran. La principal desventaja de estos lenguajes es la dificultad en la depuración de código debido a la complejidad de las sintaxis de los mismos. Existen otras plataformas de programación enfocadas en la implementación de formulaciones matemáticas de manera más sencilla. Estas plataformas emplean sintaxis similares al lenguaje matemático empleado en el desarrollo de formulaciones aplicadas a la ingeniería. Algunas de estas plataformas de desarrollo de software matemático son MATLAB [2] y Octave [3]. MATLAB es un software comercial ampliamente reconocido por la comunidad científica. Octave es un software matemático de código abierto desarrollado bajo el Sistema Operativo Linux.

En el área de máquinas eléctricas, el desarrollo de programas basados en scripts ha sido ampliamente aplicado en la enseñanza de temas, de manera particular [4]-[5]. Esto a su vez, ha impedido la generación de evidencias de desempeño integrales en sistemas educativos basados en competencias.

En este trabajo se presenta el desarrollo de programas computacionales basados en scripts empleados en la enseñanza de las Máquinas de Inducción [5]-[7]. El desarrollo de programas, de forma habitual, le permitirá al estudiante adquirir y desarrollar, de forma sistemática, los conocimientos significativos requeridos del contenido

¹ J. M. Díaz-Chacón (juan.mauricio.diaz.chacon@uabc.edu.mx), V. Mata-Brauer, C. Amaro, A. Navarro. Facultad de Ingeniería – Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N C.P. 21280, Mexicali, B.C., México.

temático de la asignatura en cuestión. En este trabajo se presenta el análisis de cuatro casos de estudio a través del uso de programas basados en scripts.

II. DESARROLLO DE PROGRAMAS COMPUTACIONALES PARA EL ANÁLISIS DE VARIOS CASOS DE ESTUDIO

En este trabajo se realizaron cuatro programas basados en scripts para analizar varios casos de estudio. Las formulaciones matemáticas implementadas en los programas se basan en referencias incluidas en el contenido temático del curso de Máquinas de Inducción de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California [5]-[6]. En los casos 1 y 2 se desarrolló el análisis de dos transformadores monofásicos. Estos casos se seleccionaron de [6] y [7], respectivamente. En el caso 1 se calcularon los parámetros de los circuitos equivalentes aproximados del transformador, referidos tanto al primario como al secundario. En el caso 2 se calcularon los parámetros del circuito equivalente aproximado del transformador referido al secundario y se obtuvieron la eficiencia y el porcentaje de regulación de voltaje en el mismo. El caso 3 se empleó para mostrar la aplicación de la técnica por unidad (pu's) mediante el análisis y solución de un sistema de potencia. Finalmente, en el caso 4 se calcularon los parámetros del circuito equivalente de un motor de inducción trifásico recomendado por IEEE [5].

Para el desarrollo de los programas correspondientes a los casos 1 al 3 se consideraron las formulaciones y los métodos de solución incluidos en [6] mientras que para el desarrollo del programa del caso 4 se consideró la formulación y el método de solución empleados en [5]. Los códigos de los programas de los casos analizados se muestran en los apéndices A, B, C y D, respectivamente. Todos los programas se ejecutaron en dos plataformas de programación: MATLAB y Octave. La ejecución de MATLAB se realizó sobre el Sistema Operativo Windows mientras que la ejecución de Octave se realizó sobre el Sistema Operativo Linux Ubuntu.

Se recomienda al lector revisar los métodos provistos en las referencias antes mencionadas para mejorar la comprensión de la nomenclatura empleada y de la implementación de los programas presentados. Los programas desarrollados en este trabajo pueden formar parte de software de mayor complejidad. Cabe mencionar que los casos analizados son empleados solamente con fines tutoriales de incursión en la programación de scripts para la enseñanza de las Máquinas de Inducción.

En las Tablas I y II se muestran los parámetros obtenidos de los circuitos equivalentes aproximados del transformador del caso 1 mediante la ejecución del programa respectivo. En la Tabla III se muestran los parámetros obtenidos del circuito aproximado del transformador del caso 2 mediante la ejecución del

programa correspondiente. El valor de la eficiencia obtenido fue 98.38 % y el porcentaje de regulación de voltaje fue 3.864 %. La eficiencia obtenida del análisis del sistema de potencia mediante la ejecución del programa del caso 3 fue 85.62 %. En la Tabla IV se presentan los parámetros obtenidos del circuito equivalente del motor de inducción trifásico del programa del caso 4.

En las Figuras 1 y 2, respectivamente, se muestran los valores de los parámetros de los circuitos equivalentes propuestos en [6]. Se puede observar la similitud entre los valores presentados en la referencia y los resultados obtenidos mediante la ejecución del programa.

TABLA I
PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR REFERIDO AL PRIMARIO DEL CASO 1.

Parámetro	Valor (Ω)
R_{eqHV}	6.0
X_{eqHV}	13.748
R_{CHV}	192000.0
X_{mHV}	49574.187

TABLA II
PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR REFERIDO AL SECUNDARIO DEL CASO 1.

Parámetro	Valor (Ω)
R_{eqLV}	0.015
X_{eqLV}	0.034
R_{CLV}	480.0
X_{mLV}	123.935

TABLA III
PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR DEL CASO 2.

Parámetro	Valor (Ω)
R_{eqLV}	0.115
X_{eqLV}	0.641
R_{CLV}	2880.0
X_{mLV}	301.641

TABLA IV
PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO DEL CASO 4.

Parámetro	Valor (Ω)
R_1	0.262
R_2	0.430
X_1	1.030
X_2	1.030
X_m	20.807

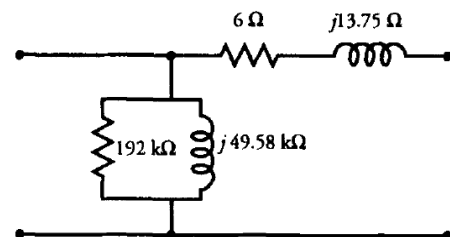


Figura 1. Circuito equivalente aproximado del transformador referido al primario del caso 1 obtenido en [6].

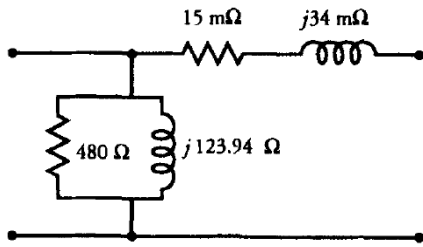


Figura 2. Circuito equivalente aproximado del transformador referido al secundario del caso 1 obtenido en [6].

En la Figura 3 se muestran los parámetros del circuito equivalente aproximado del transformador del caso 2, propuesto en [7]. En la Figura 4 se muestra el diagrama esquemático del sistema de potencia empleado para el análisis del caso 3, propuesto en [6]. En la Figura 5 se muestra el circuito equivalente del motor de inducción trifásico recomendado por IEEE [5].

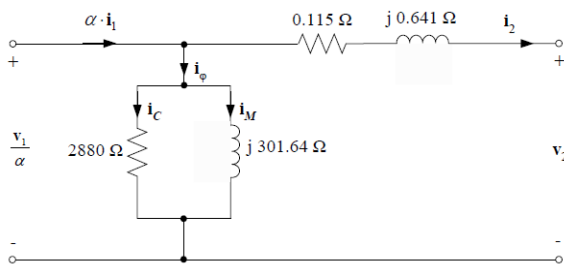


Figura 3. Circuito equivalente aproximado del transformador del caso 2 obtenido en [7].

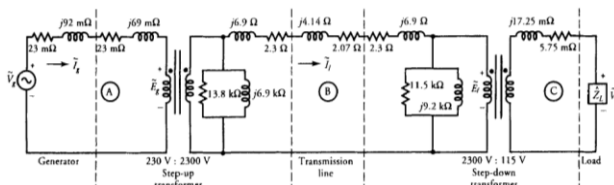


Figura 4. Diagrama esquemático del sistema de potencia del caso 3 [6].

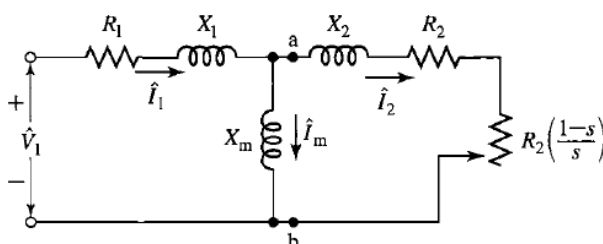


Figura 5. Circuito equivalente del motor de inducción trifásico recomendado por IEEE [5].

III. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo de varios programas computacionales basados en scripts empleados en el aprendizaje de las Máquinas de Inducción. Se demostró la viabilidad que presenta el uso de scripts en la construcción de conocimientos significativos pertinentes al contenido temático de la asignatura en cuestión. El uso de estas herramientas propiciará una mayor comprensión de los temas, impartidos en clase, relacionados con el funcionamiento de las Máquinas de Inducción.

IV. APÉNDICE A: PROGRAMA DEL CASO 1- TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

```

%*****
% Cálculo de los parámetros del circuito equivalente aproximado
% del transformador (referido al primario y al secundario) a
% partir de pruebas de Circuito Abierto (OC) y de Corto Circuito (SC).
%*****
% Ejemplo 4.8
% Electric Machinery and Transformers, B. S. Guru and H. R. Hiziroglu,
% Oxford University Press, pp. 236-238, 2001.
%*****
clear all
%*****
% PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO (prueba realizada en LV)
%*****
Voc = 240.0;   loc = 2.0;   Poc = 120.0;
%*****
% PRUEBA DE CORTO CIRCUITO (prueba realizada en HV)
%*****
Vsc = 150.0;   Isc = 10.0;   Psc = 600.0;
%*****
% DATOS NOMINALES O DE PLACA (potencia aparente y voltajes en
% devanados)
%*****
S = 48000.0;   V1 = 4800.0;   V2 = 240.0;
%*****
% CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
% APROXIMADO REFERIDO
%*****
a = V1 / V2;
%-----
% IMPEDANCIAS DE MAGNETIZACIÓN (Rc_HV, Xm_HV, Rc_LV, Xm_LV)
%-----
Soc = Voc * loc;           Rc_LV = Voc^2 / Poc;
Qoc = sqrt(Soc^2 - Poc^2);  Xm_LV = Voc^2 / Qoc;
Rc_HV = Rc_LV * a^2;      Xm_HV = Xm_LV * a^2;
%-----
% IMPEDANCIAS SERIE EQUIVALENTE
% (Req_HV, Xeq_HV, Req_LV, Xeq_LV)
% c - compleja, p - prima, (') - conjugado
%-----
Req_HV = Psc / Isc^2;      Zeq_HV = Vsc / Isc;
Xeq_HV = sqrt(Zeq_HV^2 - Req_HV^2);
Req_LV = Req_HV / a^2;    Xeq_LV = Xeq_HV / a^2;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----

```

```
diary resultados_transformador_monofasico1_CONINCI_2015.txt
fprintf('Param. del circ. equival. aprox. del transformador monofasico');
fprintf('\n Req_HV = %.3f [Ohms]', Req_HV);
fprintf('\n Xeq_HV = %.3f [Ohms]', Xeq_HV);
fprintf('\n Rc_HV = %.3f [Ohms]', Rc_HV);
fprintf('\n Xm_HV = %.3f [Ohms]', Xm_HV);
fprintf('\n\nReq_LV = %.3f [Ohms]', Req_LV);
fprintf('\n Xeq_LV = %.3f [Ohms]', Xeq_LV);
fprintf('\n Rc_LV = %.3f [Ohms]', Rc_LV);
fprintf('\n Xm_LV = %.3f [Ohms]\n', Xm_LV);
diary off
```

V. APÉNDICE B: PROGRAMA DEL CASO 2 - TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

```
%*****
% Cálculo de los parámetros del circuito equivalente aproximado
% del transformador (referido al secundario) a
% partir de pruebas de Circuito Abierto (OC) y de Corto Circuito (SC).
%*****
% Cálculo de la eficiencia y del % de regulación de voltaje
% del transformador usando el circuito equivalente aproximado
% referido.
%*****
% Ejemplos 1.3 y 1.4
% Spotlight on Modern Transformer Design, P. S. Georgilakis,
% Springer, pp. 16-25, 2009.
%*****
clear all
%*****
% PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO (prueba realizada en LV)
%*****
Voc = 480.0;   loc = 1.6;   Poc = 80.0;
%*****
% PRUEBA DE CORTO CIRCUITO (prueba realizada en HV)
%*****
Vsc = 1130.0;   Isc = 1.0;   Psc = 200.0;
%*****
% DATOS NOMINALES O DE PLACA
%*****
S = 20000.0;   V1 = 20000.0;   V2 = 480.0;
%*****
% DATOS DE LA CARGA (PORCENTAJE DE LA CARGA NOMINAL Y
% FACTOR DE POTENCIA)
%*****
fp = 0.85;           % carga con factor de potencia = 0.85 en atraso
fp_adelanto_atraso = -1;% -1. atraso, 1. resistiva o adelanto
porciento_carga = 1.0; % 100 % de la carga nominal
%+++++
% CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
% APROXIMADO REFERIDO
%+++++
a = V1 / V2;
thetaL = fp_adelanto_atraso * acos(fp);% ángulo thetaL en radianes
SL = porciento_carga * S;
%-----
% IMPEDANCIAS DE MAGNETIZACIÓN (Rc_LV, Xm_LV),
% Zphi_LV = Rc_LV || jXm_LV
%-----
Soc = Voc * loc;
Rc_LV = Voc^2 / Poc;
Qoc = sqrt(Soc^2 - Poc^2);
Xm_LV = Voc^2 / Qoc;
```

```
Zphi_LV = (Rc_LV * j * Xm_LV) / (Rc_LV + j * Xm_LV);
%-----
% IMPEDANCIAS SERIE EQUIVALENTE (Req_LV, Xeq_LV,
% Zeq_LV = Req_LV + jXeq_LV)
%-----
Req_HV = Psc / Isc^2;           Zeq_HV = Vsc / Isc;
Xeq_HV = sqrt(Zeq_HV^2 - Req_HV^2);
Req_LV = Req_HV / a^2;           Xeq_LV = Xeq_HV / a^2;
Zeq_LV = Req_LV + j * Xeq_LV;
%-----
% VOLTAJES Y CORRIENTES EN EL CIRCUITO EQUIVALENTE
% APROXIMADO REFERIDO
% c - compleja, p - prima, (') - conjugado
%-----
% Referido a LV (secundario)
% V2
V2c = complex(V2,0.0);
% I2
I2 = SL / V2;           I2c = I2 * exp(j * thetaL);
% Vphi
Vphi = V2c + Zeq_LV * I2c;
% Iphi
Iphi = Vphi / Zphi_LV;
% I1p
I1pc = Iphi + I2c;
% V1p
V1pc = Vphi;
%-----
% PÉRDIDAS, EFICIENCIA Y REGULACIÓN DE VOLTAJE
%-----
Pcu = abs(I2c)^2 * Req_LV; % De la prueba de corto circuito (en LV)
% Pcu puede variar según el valor de la corriente en la carga.
Pc = Poc;           % Pc no depende del valor de la corriente en la carga.
Po = real(V2c * I2c'); % Po = abs(V2c) * abs(I2c) * cos(thetaL);
Pin = Pc + Pcu + Po;   eficiencia = (Po / Pin) * 100.0;
reg_voltaje = ((abs(V1pc) - abs(V2c)) / abs(V2c)) * 100.0;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----
diary resultados_transformador_monofasico2_CONINCI_2015.txt
fprintf('Param. del circ. equival. aprox. del transformador monofasico');
fprintf('\n Req_LV = %.3f [Ohms]', Req_LV);
fprintf('\n Xeq_LV = %.3f [Ohms]', Xeq_LV);
fprintf('\n Rc_LV = %.3f [Ohms]', Rc_LV);
fprintf('\n Xm_LV = %.3f [Ohms]', Xm_LV);
fprintf('\n\nEficiencia (Pc + Pcu + Po) = %.3f', eficiencia);
fprintf('\n Porciento Reg. Volt. = %.3f\n', reg_voltaje);
diary off
```

VI. APÉNDICE C: PROGRAMA DEL CASO 3 – SISTEMA DE POTENCIA

```
%*****
% Ejemplo 4.9 - Solución del Sistema de Potencia
% usando la técnica de pu's
% Electric Machinery and Transformers, B. S. Guru and H. R. Hiziroglu,
% Oxford University Press, pp. 240-244, 2001.
%*****
clear all
%*****
% DATOS DE LA CARGA
%*****
fp = 0.866;           % factor de potencia = 0.866 en atraso
```

```

porciento_carga = 1.0;    % 100 % de la carga
fp_adelanto_atraso = -1; % -1. atraso, 1. resistiva o adelanto
%*****
% SOLUCION DEL SISTEMA DE POTENCIA
%*****
% Valores Base de Sección A
SbaseA = 46000.0;          VbaseA = 230.0;
IbaseA = SbaseA / VbaseA;  ZbaseA = VbaseA^2 / SbaseA;
%-----
% Valores Base de Sección B
SbaseB = 46000.0;          VbaseB = 2300.0;
IbaseB = SbaseB / VbaseB;  ZbaseB = VbaseB^2 / SbaseB;
%-----
% Valores Base de Sección C
SbaseC = 46000.0;          VbaseC = 115.0;
IbaseC = SbaseC / VbaseC;  ZbaseC = VbaseC^2 / SbaseC;
VL = 115.0;                Vlc = complex(VL,0.0);
SL = SbaseC;               IL = (SL * porciento_carga) / VL;
thetal = fp_adelanto_atraso * acos(fp);  Ilc = IL * exp(j * thetal);
%-----
% Impedancias de la línea de transmisión y del generador
Zlinea = 2.07 + j * 4.14;   Zgen = 0.023 + j * 0.092;
%-----
% Impedancias del transformador elevador (e)
R_HVe = 2.3;                X_HVe = 6.9;
R_LVe = 0.023;              X_LVe = 0.069;
Rc_HVe = 13800.0;          Xm_HVe = 6900.0;
%-----
% Impedancias del transformador reductor (r)
R_HVr = 2.3;                X_HVr = 6.9;
R_LVr = 0.00573;           X_LVr = 0.01725;
Rc_HVr = 11500.0;          Xm_HVr = 9200.0;
%-----
% Impedancias en pu's de Sección A
Zgen_pu = Zgen / ZbaseA;
R_LVe_pu = R_LVe / ZbaseA;  X_LVe_pu = X_LVe / ZbaseA;
%-----
% Impedancias en pu's de Sección B
Rc_HVe_pu = Rc_HVe / ZbaseB;  Xm_HVe_pu = Xm_HVe / ZbaseB;
R_HVe_pu = R_HVe / ZbaseB;    X_HVe_pu = X_HVe / ZbaseB;
%-----
Zlinea_pu = Zlinea / ZbaseB;
%-----
R_HVr_pu = R_HVr / ZbaseB;    X_HVr_pu = X_HVr / ZbaseB;
Rc_HVr_pu = Rc_HVr / ZbaseB;  Xm_HVr_pu = Xm_HVr / ZbaseB;
%-----
% Impedancias en pu's de Sección C
R_LVr_pu = R_LVr / ZbaseC;    X_LVr_pu = X_LVr / ZbaseC;
%-----
% Voltaje en la carga en pu's
VL_pu = VL / VbaseC;
% Corriente en la carga en pu's
IL_pu = Ilc / IbaseC;
%-----
% Ecuaciones para la solución del sistema de potencia en pu's
Vphi_HVr_pu = VL_pu + (R_LVr_pu + j * X_LVr_pu) * IL_pu;
Zphi_HVr_pu = (Rc_HVr_pu * j * Xm_HVr_pu) / (Rc_HVr_pu + ...
j * Xm_HVr_pu);
Iphi_HVr_pu = Vphi_HVr_pu / Zphi_HVr_pu;
Ilinea_pu = Iphi_HVr_pu + IL_pu;
Vphi_HVe_pu = Vphi_HVr_pu + ((R_HVr_pu + j * X_HVr_pu) + ...
(R_HVe_pu + j * X_HVe_pu) + Zlinea_pu) * Ilinea_pu;
Zphi_HVe_pu = (Rc_HVe_pu * j * Xm_HVe_pu) / (Rc_HVe_pu + ...
j * Xm_HVe_pu);

```

```

Iphi_HVe_pu = Vphi_HVe_pu / Zphi_HVe_pu;
% Corriente en el generador en pu's
Ilg_pu = Iphi_HVe_pu + Ilinea_pu;
% Voltaje en el generador en pu's
Vg_pu = Vphi_HVe_pu + (Zgen_pu + (R_LVe_pu + j * X_LVe_pu)) * Ilg_pu;
% Corriente en el generador en Amperes
Ilg = Ilg_pu * IbaseA;
% Voltaje en el generador en Volts
Vg = Vg_pu * VbaseA;
%-----
% Potencias de salida y de entrada, respectivam.
Po_pu = real(VL_pu * IL_pu');    Pin_pu = real(Vg_pu * Ilg_pu');
% Eficiencia
eficiencia_pu = (Po_pu / Pin_pu) * 100.0;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----
diary resultados_sistema_potencia_CONINCI_2015.txt
fprintf('Resultados del Sistema de Potencia');
fprintf('\n Ig = %.3f [A]', abs(Ilg));
fprintf('\n angulo_Ig = %.3f [grados]', rad2deg(angle(Ilg)));
fprintf('\n Vg = %.3f [V]', abs(Vg));
fprintf('\n angulo_Vg = %.3f [grados]', rad2deg(angle(Vg))); fprintf('\n\n
Po_pu = %.3f [pu]', Po_pu);
fprintf('\n Pin_pu = %.3f [pu]', Pin_pu);
fprintf('\n\n Eficiencia = %.3f [porciento]\n', eficiencia_pu);
diary off

```

VII. APÉNDICE D: PROGRAMA DEL CASO 4 – MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

```

%*****
% Cálculo de los parámetros del circuito equivalente del motor de
% inducción trifásico (clase A) recomendado por IEEE.
%*****
% Ejemplo 6-6
% Electric Machinery, A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, Jr., and S. D. Umans,
% McGraw-Hill, pp. 335-338, 2003.
%*****
clear all
clase = 1;          No_polos = 4;
%*****
% Prueba de CD
R1 = 0.262;
%*****
% Prueba sin carga (NL - No Load)
V_NL = 219.0;      I_NL_prom = 5.7;      Pin_NL = 380.0;
f_NL = 60.0;
%*****
% Prueba de rotor bloqueado (LR - Locked Rotor, 15 Hz)
V_LR = 26.5;      I_LR_prom = 18.57;      Pin_LR = 675.0;
f_LR = 15.0; %*****
+++++++ % CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL CIRCUITO EQUIVA-
LENTE
% RECOMENDADO POR IEEE %*****
+++++++ Vfase_NL = V_NL / sqrt(3.0);    %
Voltaje de fase (conexión estrella) S_NL = 3.0 * Vfase_NL * I_NL_prom;
% Potencia aparente Q_NL = sqrt(S_NL^2 - Pin_NL^2);    %
Potencia reactiva
X_NL = Q_NL / (3.0 * I_NL_prom^2);      % Reactancia NL %. ....
Vfase_LR = V_LR / sqrt(3.0);
S_LR = 3.0 * Vfase_LR * I_LR_prom;      % Potencia aparente

```

```

Q_LR = sqrt(S_LR^2 - Pin_LR^2);           % Potencia reactiva
X_LR = (f_NL / f_LR) * Q_LR / (3.0 * I_LR_prom^2); % Reactancia LR
R_LR = Pin_LR / (3.0 * I_LR_prom^2); % .....
if clase == 1 % clase A, k = 1 (IEEE)
    k = 1.0;
end

a = k^2;
b = X_LR * (1 - k) - X_NL * (1 + k);
c = X_NL * X_LR;

xa = (-b + sqrt(b^2 - 4.0 * a * c)) / (2.0 * a);
xb = (-b - sqrt(b^2 - 4.0 * a * c)) / (2.0 * a);

if (xa < xb)
    X2 = xa;
else
    X2 = xb;
end

X1 = k * X2;
Xm = X_NL - X1;
R2 = (R_LR - R1) * ((X2 + Xm) / Xm)^2;
%-----
% RESULTADOS OBTENIDOS USANDO MATLAB Y OCTAVE
%-----
diary resultados_motor_induccion_trifasico_CONINCI_2015.txt
fprintf('Param. del circuito equival. del motor de induccion por fase');
fprintf('\n recomendado por IEEE');
fprintf('\n R1 = %.3f [Ohms]', R1);
fprintf('\n R2 = %.3f [Ohms]', R2);
fprintf('\n X1 = %.3f [Ohms]', X1);
fprintf('\n X2 = %.3f [Ohms]', X2);
fprintf('\n Xm = %.3f [Ohms]\n', Xm);
diary off

```

VIII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

IX. REFERENCIAS

- [1] Pereira, J. R. y Pinho, P. (1988). "Using modern tools to explain the use of the Smith chart," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 145-150, April 2010.
- [2] The MathWorks, Inc. (2011). *MATLAB Getting Started Guide*.
- [3] Eaton, J. W. (2002). *GNU Octave Manual*.
- [4] Chapman, S. J. (2005). *Electric Machinery Fundamentals*. USA: McGraw-Hill.
- [5] Fitzgerald, A. E., Kingsley, C. y Umans, S. D. (2003). *Electrical Machinery*. USA: McGraw-Hill.
- [6] Guru, B. S. y Hiziroglu, H. R. (2001). *Electric Machinery and Transformers*. USA: Oxford University Press.
- [7] Georgilakis, P. S. (2009). *Spotlight on Modern Transformer Design*. Greece: Springer.

X. BIOGRAFÍA



J. M. Díaz-Chacón nació en Torreón, Coah., México en 1983. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico en 2006 por parte del Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah., México, y los grados de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Ingeniería de Potencia, en 2010 y 2013, respectivamente, por parte de la misma Institución.

El actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México. Sus áreas principales de interés son la aplicación de técnicas numéricas computacionales en el modelado y análisis de máquinas eléctricas, especialmente transformadores.



V. Mata-Brauer nació en Coatzacoalcos, Ver., México en 1961. Obtuvo el título de Ing. Mecánico Electricista en 1987 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California y el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en 2007 en la misma Institución.

El actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Sus áreas principales de interés son el control y pruebas a máquinas eléctricas, especialmente motores de inducción.



C. Amaro nació en Mexicali, B. C., México en 1965. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Autónoma de Baja California en 1989. Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Electrónica en el área de instrumentación y control en 2002 y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en el área de instrumentación y metrología en 2009, ambos por parte de la UABC.

El actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Sus áreas de interés son el análisis de circuitos eléctricos, instrumentación y control, y la adquisición y procesamiento de datos.

A. Navarro nació en Culiacán, Sinaloa, México en 1963. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista en 1986 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), y el grado de Maestro en Ingeniería en Procesos Industriales, en 2008, por parte de la misma Institución.

El actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Mexicali, B. C., México. Sus áreas principales de interés son los procesos industriales aplicados a la ingeniería eléctrica y el desarrollo en los estudiantes de las competencias profesionales y académicas que les permitan enfrentar con éxito los complejos retos en el ejercicio profesional.