



Conference: Interdisciplinary Congress of Renewable Energies, Industrial Maintenance, Mechatronics  
and Information Technology  
**BOOKLET**



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

**Title:** Diseño y modelado de un motor de cd con variación de resistencia de campo para regular la velocidad.

**Authors:** MARTÍNEZ-CARRILLO, Irma, JUÁREZ-TOLEDO, Carlos y CAMACHO-ALTAMIRANO, Ulices

Editorial label ECORFAN: 607-8695  
BCIERMMI Control Number: 2019-179  
BCIERMMI Classification (2019): 241019-179

Pages: 11  
RNA: 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
143 – 50 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: contacto@ecorfan.org  
Facebook: ECORFAN-México S. C.  
Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

# **CONTENIDO**

Introducción

Metodología

Resultados

Conclusiones

Referencias

# INTRODUCCIÓN

Un motor de cd es una maquina eléctrica rotatoria que transforma la energía eléctrica en energía mecánica como se muestra en la figura 1.

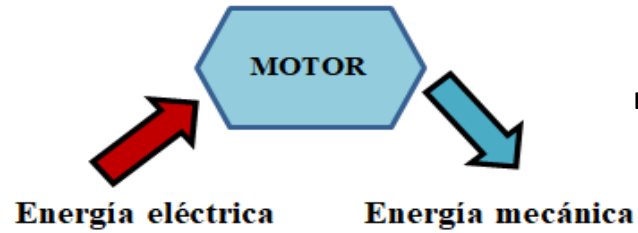


Figura 1 Transformación de energía del motor de cd ([J. G. Pérez, 2013](#))

Representación  
esquemática

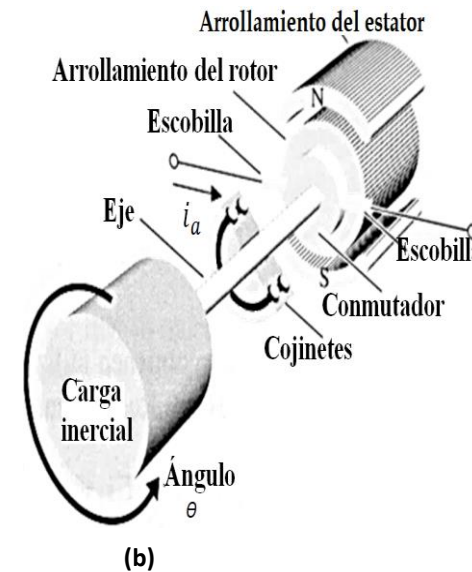
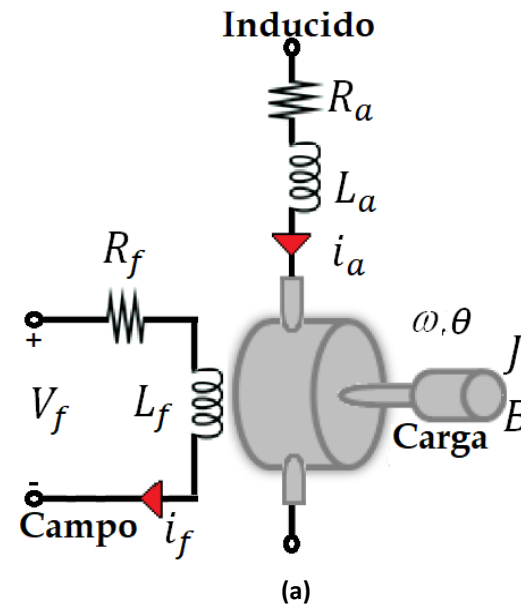


Figura 2 (a) Motor de cd controlado en el campo. (b) actuador rotacional ([R. C. Dorf, 2008](#))

El comportamiento dinámico del motor de cd esta representado el conjunto de ecuaciones diferenciales:

Donde:

$R_f$ : resistencia de campo en ohms ( $\Omega$ )

$L_f$ : inductancia de campo en henrios (H)

$i_f$ : corriente de campo en amperes (A)

$V_f$ : tensión del campo en volts (V)

$R_a$ : resistencia de inducido en  $\Omega$

$L_a$ : inductancia de armadura en henrios (H)

$i_a$ : corriente de inducido en amperes (A)

$V_e$ : tensión de armadura en volts (V)

$\omega$ : velocidad angular en  $rad/seg$

$T_m$ : par del motor en N.m

$K_{re}$ : constante de relación rotor y estator

$T_d$ : es el par de perturbación en N.m

$J$ : Momento de inercia en  $k. m^2$

$B$ : Coeficiente de fricción  $Nm/rad$

$$R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} - V_f = 0$$

$$R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + V_e - V_a$$

$$V_e = K_{re} i_f \omega$$

$$T_m = K_{re} i_f i_a$$

$$T_m - T_d = J \frac{d\omega}{dt} + B \omega$$



Modelo convencional

Representación en espacio de estados.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{k}{L_a} \\ \frac{k}{J} & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} u$$

Establece que la tensión de campo es proporcional al voltaje de la resistencia de campo  $V_f = R_f i_f$  para  $i_f$  constante.

# Metodología

## Representación completa del motor de cd.

La representación en espacio de estados del modelo completo conserva como variable la corriente de campo  $i_f$  siendo  $x \in R^3 \exists x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [i_f \ i_a \ \omega]^T$ .

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R_a}{L_a} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_f} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ V_a \\ T_d \end{bmatrix}$$

Donde

$$H_2^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, H_2^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{K_{re}}{L_a} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ y } H_2^3 = \begin{bmatrix} 0 & \frac{K_{re}}{J} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Herramienta adicional para procesamiento de información

## Integración trapezoidal

El método del trapecio reemplaza un conjunto de puntos generados por una función  $f(x)$  por una función discreta  $f_n(x)$  en un intervalo de interés  $[a, b]$  (A, Gilat, 2006).

$$\int_a^b f(x) dx \approx \int_a^b f_n(x) dx$$

$$\int_a^b f(x) dx \approx \int_a^b y_1(x) dx$$

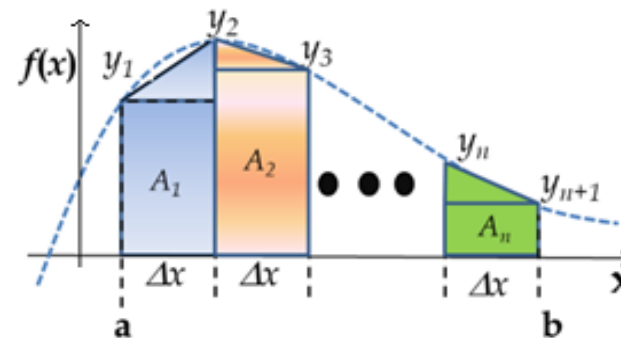


Figura función discreta  $f_n(x)$  en  $n$  intervalos iguales (I. Hernandez, 2015)



Sumando las áreas individuales resulta

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{\Delta x}{2} (y_1 + 2y_2 + 2y_3 + \dots + 2y_n + y_{n+1})$$

# Resultados

Elemento	Valor
$V_a$	5V
$L_a$	0.5
$R_a$	1.5
$K_{re}$	0.08
$T_{carga}$	0
$B$	0.05

**Tabla** Parámetros del modelo reducido

Elemento	Valor
$V_a$	5V
$L_a$	0.5
$R_a$	1.5
$K_{re}$	0.08
$T_{carga}$	0
$B$	0.05
$V_f$	8V
$L_f$	0.05
$R_f$	8

**Tabla** Parámetros del modelo completo

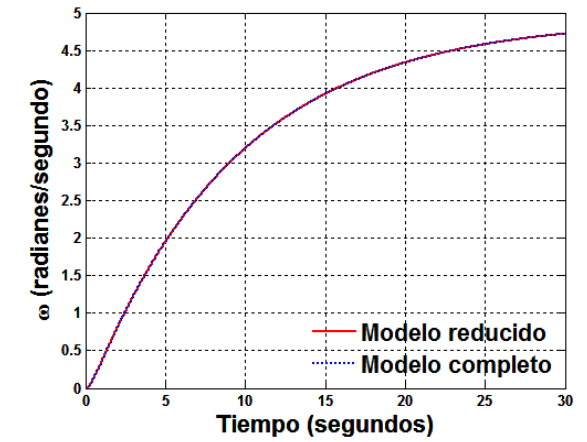
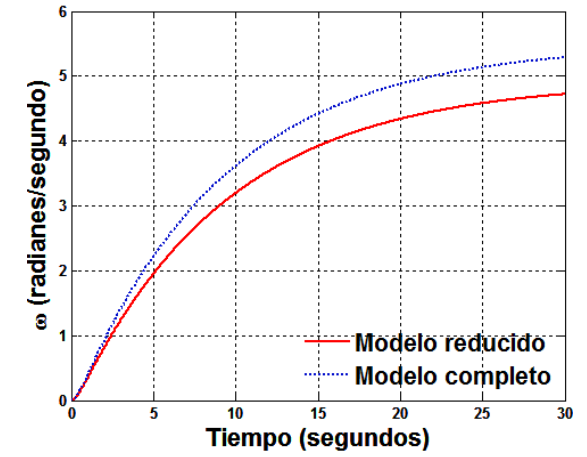
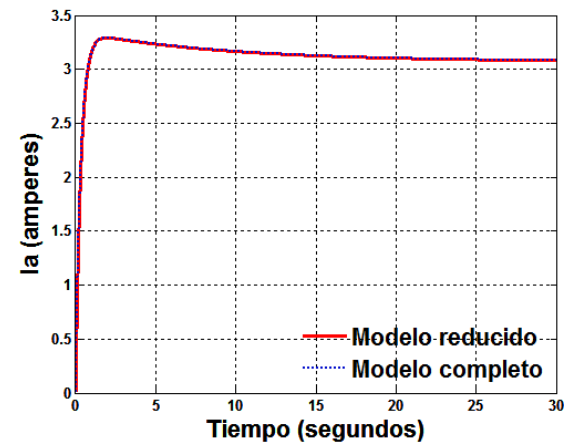
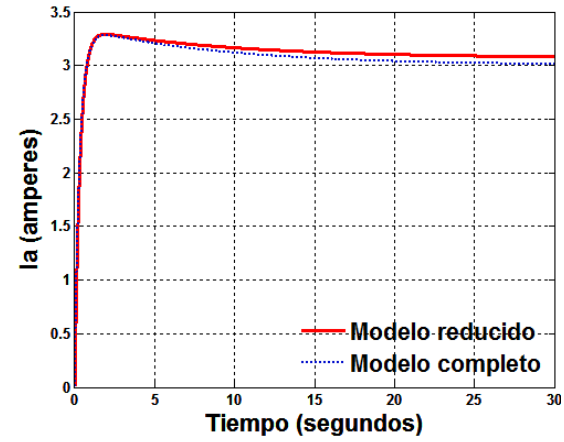
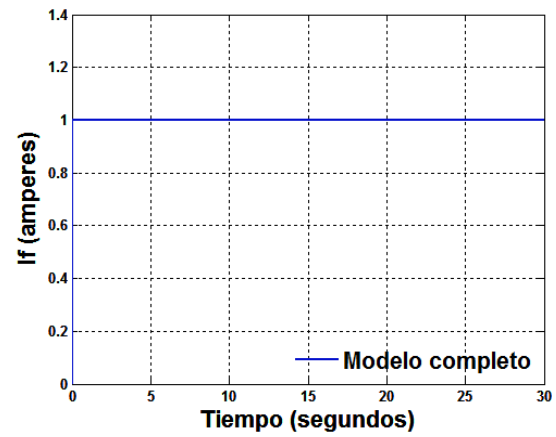
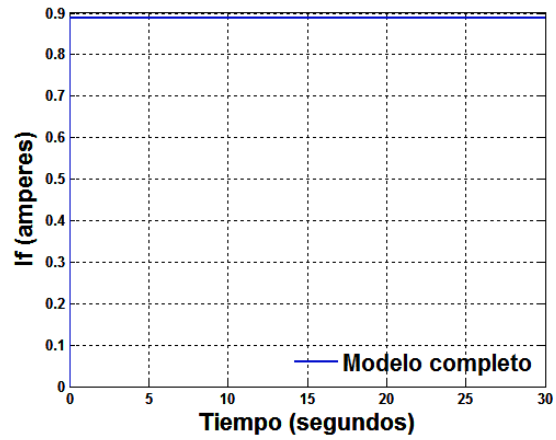


Gráfico Corriente de campo para  $R_f = 9$  y  $8 \Omega$



Usando el método de integración trapezoidal, adicionalmente se obtiene la posición del rotor de ambos modelos de estudio.

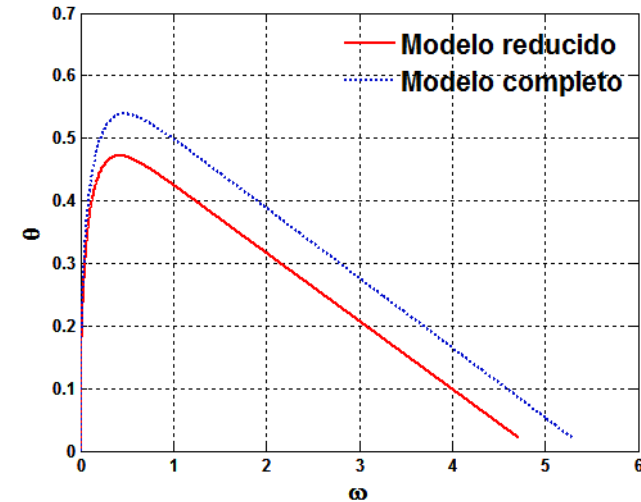
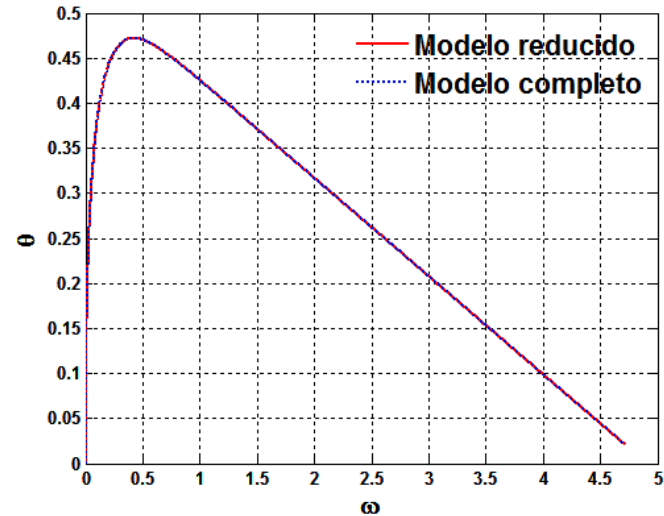
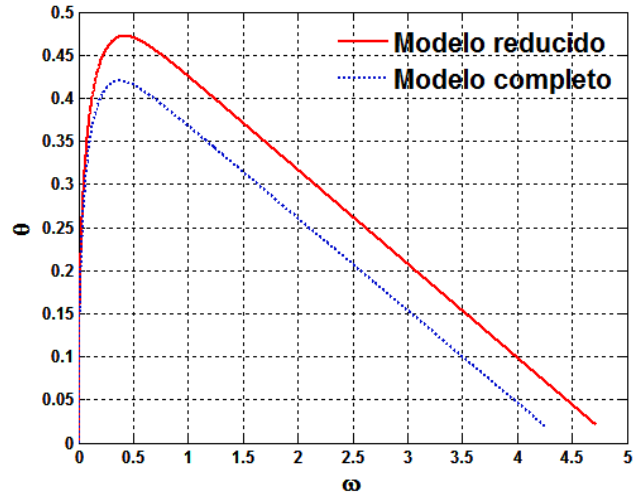


Gráfico Posición  $\theta$  para  $R_f = 9, 8$  y  $7\Omega$

### Análisis en el plano de fase

Para complementar el estudio es posible obtener también el plano de fase, el cual permite conocer las fronteras de estabilidad a través de relación (C. Juárez, 2011):

### Sistemas reducidos

$$\frac{d\theta}{dt} = x_2(t)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \dot{x}_2(t)$$

### Sistema aumentado

$$\frac{d\theta}{dt} = x_3(t)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \dot{x}_3(t)$$

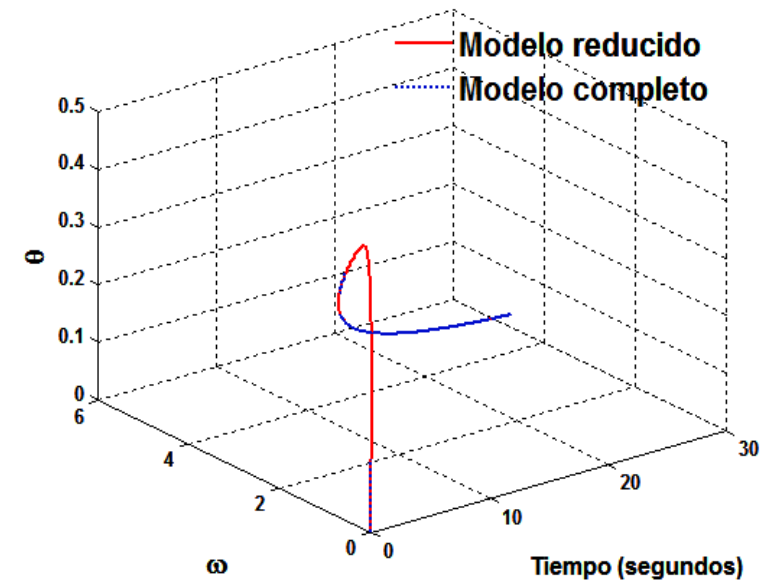
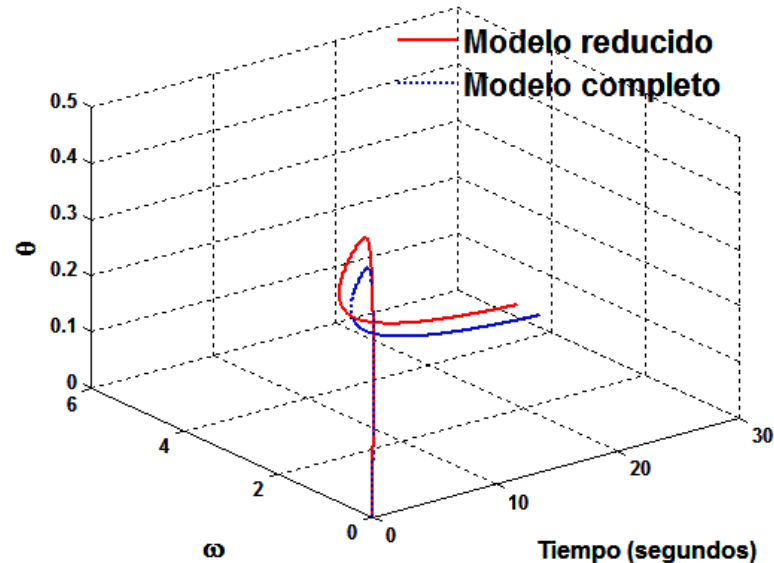
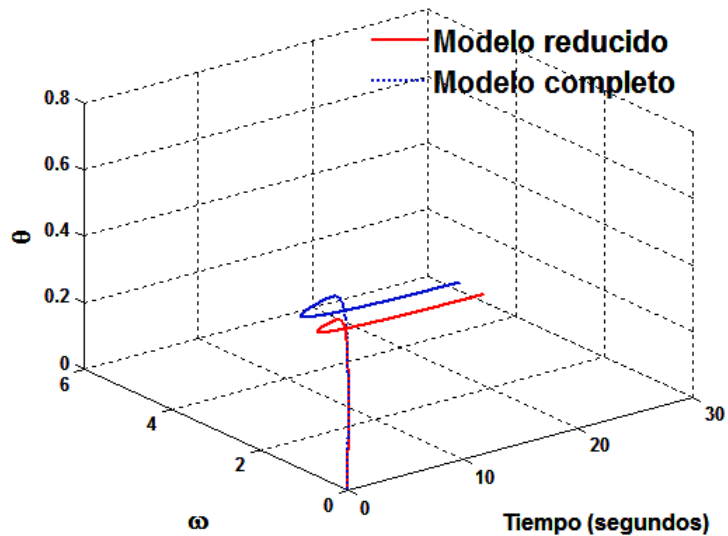


Gráfico Trayectoria plano de fase para  $R_f = 9, 8$  y  $7\Omega$

# Conclusiones

La variable que aumento en el modelo completo es la corriente de campo  $i_f$ , convencionalmente la corriente de campo se considera como un parámetro constante dentro de la dinámica del sistema, ya que su comportamiento tiende a estabilizarse para tiempos mayores que cero.

El comportamiento de ambos modelos para una  $R_f = 8\Omega$  son idénticos, es decir, las ecuaciones en espacio de estado son no lineales; Cuando la no linealidad llega a tomar importancia en los sistemas de estudio, el modelo completo tiene mayor participación ya que contiene información adicional, principalmente para  $t \rightarrow 0$  que corresponden al tiempo de arranque.

# Referencias

[J. G. Pérez](#), Montaje y mantenimiento de máquinas eléctricas rotativas. ELEE0109 - Montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas de baja tensión, IC Editorial, 2013, ISBN: 9788415670575.

[R. C. Dorf](#), [Robert H. Bishop](#), Sistemas de control moderno, Pearson Educación, 2008, ISBN: 9788420544014, pp. 58.

[K. Ogata](#), Ingeniería de control moderna, Pearson Educación, 2003, ISBN: 9788420536781, pp. 152-154.

Morales, M. E. P., Zamora, M., & Rodríguez-Liñán, Á. (2019). "Caracterización paramétrica para un modelo de segundo orden del servomotor RC". Ingenierías, 22(82), 7.

[J. A. Somolinos](#), Avances en robótica y visión por computador, Universidad de Castilla La Mancha, 2002, ISBN: 9788484271994, pp. 87.

Macías, R. M. B., Asqui, S. E. B., Romero-Pérez, J. A., & Miguel-Escrig, O. (2019), "Sintonización de Controladores PID para Control de Velocidad de Motores de Corriente Continua mediante Algoritmos Genéticos" Revista Perspectivas, 1(2), 31-37.

D. E. Rodas, Estrategia de campo orientado en el control de motores de inducción, Scientia et Technica Año XII, No 30, Mayo de 2006 UTP. ISSN 0122-1701.

I. Martínez, A. R. Messina, and E. Barocio, "Perturbation analysis of power system: Effects of second and third-order nonlinear terms on system dynamic behavior," Elect. Power Syst. Res., vol. 71, pp. 159–167, 2004.

[A. Gilat](#), Matlab: una introducción con ejemplos prácticos, Reverte, 2006, ISBN: 9788429150353, pp. 255-261.

I. Hernandez Casco, C. Juárez Toledo, I. Martínez, Interpolación polinomial para determinar el tiempo óptimo de tratamiento criogénico para acero AISI D2 en medio básico, Pistas Educativas, No. 112, Noviembre 2015. pp. 1087-1100.

C. Juárez, I. Martínez, Analysis of power system stability using phase plane analysis of Linear OMIB equivalents, [2011 8th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control](#), 19 December 2011.



**ECORFAN®**

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)