

# Diseño de un Controlador No Lineal por el Enfoque de Pasividad para Sistemas Hamiltonianos Controlados por Puerto Aplicado a un Levitador Magnético

Huerta-Valenzuela, F.<sup>1</sup>, Alvarado-Tovar, N.<sup>1</sup>, González-Vargas, L.A.<sup>1</sup>, Velásquez-Chávez, A.<sup>1</sup> Rivas de la O, E.<sup>1</sup>

**Resumen**—Los sistemas electromecánicos son aquellos que funcionan con campos eléctricos y/o magnéticos y que cuentan con partes móviles para realizar trabajo mecánico. El sistema de levitación magnética es un sistema electromecánico no lineal e inherentemente inestable. En este trabajo se presenta el diseño de un controlador mediante la metodología control basado en pasividad con asignación de interconexión, que resuelve el problema de estabilización del sistema de levitación magnética.

**Palabras claves**—Moldeo de Energía, Pasividad, Sistemas Electromecánicos, Sistema de Levitación Magnética, Sistemas Hamiltonianos Controlados por Puerto, Sistemas no lineales.

**Abstract**— The electromechanical systems are those with electric and/or magnetic fields with moving parts for yielding mechanical work. The magnetic levitation system is a nonlinear inherently unstable electromechanical system. This work presents the design in order to get a controller by using passivity based control methodology, via interconnection assignment, that solve the stabilization problem for magnetic levitation systems.

**Keywords**— Electromechanical systems, Energy shaping, Magnetic levitation system, Nonlinear systems, Passivity, Port Controlled Hamiltonian Systems.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas electromecánicos son aquellos que funcionan con campos eléctricos y/o magnéticos y que cuentan con partes móviles para realizar trabajo mecánico[1].

Si se aplicara una fuerza externa que cambiara la geometría física de un sistema, ésta tendría que superar la fuerza interna que mantiene al sistema y esto cambiaría su energía interna. Por ejemplo, si se incrementa la carga en un sistema eléctrico formado por un capacitor, esto incrementaría la fuerza mecánica necesaria para mantener

al capacitor unido y si se permitiera que la distancia entre las placas varíe, se puede usar este desplazamiento para producir trabajo mecánico [2][3].

La teoría de sistemas hamiltonianos controlados por puertos se ha aplicado en diferentes trabajos, como por ejemplo en el control de control de seguimiento de trayectorias [11] y para el para el control de un motor síncrono de imanes permanentes [12]. Los sistemas hamiltonianos controlados por puerto, permiten en forma natural estrategias propias del control basado en pasividad. La técnica del diseño de controladores basada en pasividad involucra un proceso más ligado a las propiedades físicas del sistema modificando con ayuda del controlador la energía total almacenada en el sistema, esta es la suma de la energía potencial y la energía cinética [4]. La metodología de moldeo de energía total tiene sus orígenes en el trabajo de Takegaki y Arimoto (1981), para el control de robots manipuladores [5] [6]. El control basado en pasividad con asignación de interconexión y amortiguamiento (también llamado moldeo de energía total), es una metodología que resuelve el problema de estabilización para una clase de sistemas mecánicos, eléctricos y electromecánicos (Ortega et. al. [7]). Una ventaja de esta metodología, consiste en que no se postula a priori una función candidata de energía en lazo cerrado, sino que se obtiene de entre una familia de funciones de energía, las cuales son el resultado de la asignación de una nueva estructura de interconexión y amortiguamiento del sistema en lazo cerrado [8]. Cabe mencionar que el control de sistemas de levitación magnética se puede llevar a cabo por medio de control basado en el concepto de pasividad [14] y por control basado en la funciones de Lyapunov [13].

En este trabajo se considera un sistema de levitación magnética, donde el objetivo de control es levitar magnéticamente una esfera metálica en una posición específica. Para alcanzar este objetivo, se aplica la metodología de moldeo de energía total, obteniendo como resultado un controlador basado en la asignación de una nueva estructura de interconexión [9].

El contenido de este trabajo de esta organizado como sigue: Primero se describen los elementos que conforman un electro-magneto y su modelo dinámico representado en la forma de sistemas hamiltonianos controlados por puerto. Después se establece la ley de control obtenida

<sup>1</sup> Francisco Huerta Valenzuela (fhv\_1@hotmail.com), Noé Alvarado Tovar (nalvarado@itslerdo.edu.mx), Luis Amado González Vargas (luisglzvar@gmail.com) Angélica Olivia Velásquez Chávez (avelasquez\_chavez82@hotmail.com), José Everardo Rivas de la O (everito\_78nike@hotmail.com), Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Dpto. de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Av Tecnológico S/N Col Periférico, Cd. Lerdo, Dgo. CP 25150

mediante la asignación de interconexión; Finalmente se muestran los resultados de simulación realizada en el programa SIMNON.

## II. DESARROLLO DEL PROYECTO.

### A. Obtención del modelo dinámico del sistema de levitación magnética.

Es posible adecuar un electro-magneto para que la parte móvil del sistema sea un cuerpo esférico como se muestra en la Figura 1. Al sistema así configurado se le llamará sistema de levitación magnética.

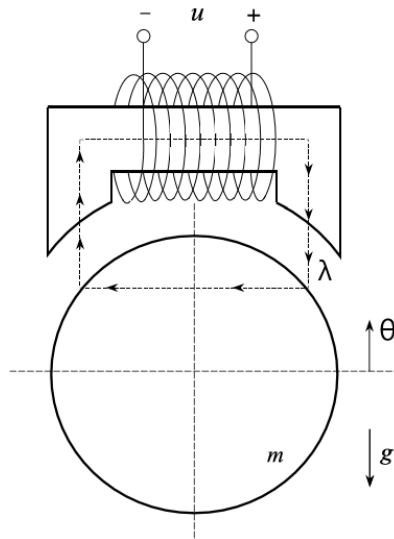


Figura 1. Sistema de levitación magnética

En la Tabla 1, se muestra la descripción, notación, valores y unidades de los parámetros que intervienen en el sistema de levitación magnética empleado. Los valores de los parámetros fueron obtenidos de los experimentos realizados en [5].

TABLA I  
PARÁMETROS DEL SISTEMA DE LEVITACIÓN MAGNÉTICA

Descripción	Notación	Valor	Unidades
Resistencia del devanado	$R$	2.52	$\Omega$
Masa de la esfera	$m$	0.0844	$kg$
Área transversal al flujo magnético	$A$	$0.4 \times 10^{-3}$	$m^2$
Posición nominal o de referencia	$c$	0.005	m
Número de vueltas del devanado	$N$	500	[adimensional]
Constante de la función de inductancia	$k$	$6.2831 \times 10^{-5}$	$Hm$
Permeabilidad relativa del acero suave	$\mu_r$	2000	[adimensional]
Permeabilidad del aire	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$	$\frac{H}{m}$
Flujo electromagnético deseado	$x_{1*}$	0.0102	Wb
Aceleración de la gravedad	$g$	9.81	$\frac{m}{s^2}$

Ahora se encontrará el valor para los parámetros  $c$ ,  $k$  y  $x_{1*}$  que aparecen en la misma tabla y que pertenecen a la ecuación del valor ideal para la inductancia del electro-magneto la cual está dada por:

$$L(\theta) = \frac{k}{c-\theta} \quad (1)$$

Para calcular el valor del parámetro  $k$ , se recurre a la siguiente ecuación:

$$k = \frac{1}{2}N^2\mu_0A, \quad (2)$$

Y sustituyendo los valores de la tabla:

$$k = \frac{1}{2}(500)^2(4\pi \times 10^{-7}[\frac{H}{m}])(0.0004[m^2]) \quad (3)$$

$$k = 6.2831 \times 10^{-5}[Hm] \quad (4)$$

Nótese que  $k$  corresponde a una constante que depende del número de vueltas del devanado y del área transversal del núcleo ferromagnético. Por otro lado  $c$  es una constante que idealmente es el valor de referencia de posición nominal y que también se muestra en la tabla 1:

$$c = GAP_c = 0.005[m] \quad (5)$$

### B. Representación del modelo dinámico según la forma de sistemas hamiltonianos controlados por puerto.

La representación general para los sistemas hamiltonianos controlados por puerto con disipación viene dada por:

$$\Sigma : \begin{cases} \dot{x} &= [J(x) - \mathcal{R}(x)] \frac{\partial H}{\partial x}(x) + g(x)u \\ y &= g^T(x) \frac{\partial H}{\partial x}(x), \end{cases} \quad (6)$$

El vector de estados se define como:

$$x = \begin{bmatrix} \lambda \\ \theta \\ m\dot{\theta} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

La función hamiltoniana  $H(x)$  (o función de almacenamiento de energía) del sistema de levitación magnética, se encuentra definida por

$$H(x) = \frac{c-x_2}{2k}x_1^2 + mgx_2 + \frac{1}{2m}x_3^2. \quad (8)$$

Donde, obedeciendo el orden de los términos que componen la ecuación se tiene la energía magnética almacenada, la energía potencial y la energía cinética que actúan en la esfera.

Haciendo uso de cálculos directos se obtiene el vector de gradiente:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \frac{(c-x_2)x_1}{k} \\ -\frac{x_1^2}{2k} + mg \\ \frac{1}{m}x_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Por otra parte, desarrollando las ecuaciones expresadas en términos del vector de estados en (7), se tiene

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R(c-x_2)x_1}{k} + u \\ \frac{1}{m}x_3 \\ \frac{1}{2k}x_1^2 - mg \end{bmatrix} \quad (10)$$

Ahora escribiendo el sistema en la forma dada por (6) se tiene:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \frac{(c-x_2)x_1}{k} \\ -\frac{1}{2k}x_1^2 + mg \\ \frac{1}{m}x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u,$$

$$y = [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} \frac{(c-x_2)x_1}{k} \\ -\frac{x_1^2}{2k} + mg \\ \frac{1}{m}x_3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Finalmente, se escribe en forma compacta el modelo hamiltoniano controlado por puerto del sistema de levitación magnética

$$\dot{\mathbf{x}} = \left( \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}}_{J(\mathbf{x})} - \underbrace{\begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathcal{K}(\mathbf{x})} \right) \frac{\partial H}{\partial \mathbf{x}}(\mathbf{x}) + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{g}(\mathbf{x})} u, \quad (12)$$

$$y = \frac{(c-x_2)x_1}{k}. \quad (13)$$

Se puede demostrar que el equilibrio natural del sistema es inestable.

*C. Análisis de estabilidad y asignación de interconexión.*

No es posible estudiar la estabilidad el sistema en un equilibrio deseado  $x_2^* = c$ , con la matriz de interconexión natural del sistema en (12) ya que  $H_d(\mathbf{x})$  no es una función candidata de Lyapunov. La causa del problema es la carencia de acoplamiento entre los subsistemas mecánico y eléctrico, ya que la matriz de interconexión natural  $J(\mathbf{x})$ , como se puede observar, sólo relaciona los estados de posición  $x_2$  y velocidad  $x_3$ . Para resolver el problema de falta de acoplamiento entre los subsistemas mecánico y eléctrico, se propone reforzar el acoplamiento entre el flujo de enlace  $x_1$  y la velocidad  $x_3$ . Bajo estas consideraciones físicas se propone la siguiente matriz de interconexión

$$J_d(\mathbf{x}) = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}}_{J(\mathbf{x})} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{J_a(\mathbf{x})} \quad (14)$$

Donde  $\alpha$  es una constante arbitraria que es de utilidad al hacer la prueba de estabilidad. Simplificando la expresión:

$$J_d(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & 1 \\ \alpha & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Resolviendo las ecuaciones diferenciales implicadas por medio de un lenguaje de programación simbólica (e.g. MAPLE) se desprende lo siguiente:

$$H_d(\mathbf{x}) = \frac{1}{6k\alpha}x_1^3 + \frac{1}{2m}x_2^2 + mgx_2 + mg \left[ -\left(\tilde{x}_2 + \frac{1}{\alpha}\tilde{x}_1\right) + \frac{b}{2}\left(\tilde{x}_2 + \frac{1}{\alpha}\tilde{x}_1\right)^2 \right] \quad (16)$$

La ley de control del sistema se obtiene directamente despejando  $\beta(\mathbf{x})$  de las ecuaciones diferenciales parciales generadas, finalmente resultando:

$$\beta(\mathbf{x}) = -R \frac{\partial H_d}{\partial x_1}(\mathbf{x}) - \frac{\alpha}{m}x_3. \quad (17)$$

Por lo tanto, (17) se escribe como

$$\beta(x) = -R \left[ \frac{1}{2k\alpha} x_1^2 + \frac{(x_2 - c)x_1}{k} - \frac{mg}{\alpha} + \frac{bmg}{\alpha} \left( \frac{1}{\alpha} \tilde{x}_1 + \tilde{x}_2 \right) \right] - \frac{\alpha}{m} x_3. \tag{18}$$

Finalmente, la ley de control para el caso de asignación de interconexión que se denotará como

$$u_{IA} = R \underbrace{\left( \frac{c - x_2}{k} x_1 \right)}_i - \underbrace{\frac{bmgR}{\alpha}}_{k_p} \left( \frac{1}{\alpha} \tilde{x}_1 + \tilde{x}_2 \right) - \frac{R}{\alpha} \left( \frac{1}{2k} x_1^2 - mg \right) - \underbrace{\frac{\alpha}{m}}_{k_v} x_3. \tag{19}$$

*Resultado de las simulaciones por medio del software SIMNON.*

En las gráficas de las Figuras 2, 3 y 4, se muestra la simulación para un punto deseado  $x_{2*} = 0.003 \text{ m}$ , partiendo de la posición  $x_2 = 0$ . Se han presentarán las simulaciones de posición, error de posición, señal de control y salida. La nomenclatura a utilizar en las gráficas será la siguiente  $x_{IA}$ , (donde IA, por sus siglas en inglés significa: Interconnection Assignment), indica la respuesta causada por el uso de la ley de control calculada mediante la asignación de interconexión. También se usa la nomenclatura  $x_{IDA}$ , (donde IDA, por sus siglas en inglés significa: Interconnection and Damping Assignment) cuya respuesta es obtenida al asignar amortiguamiento al sistema y cuyo cálculo queda fuera del alcance de este trabajo, aquí se hace la comparativa con el fin de ilustrar el efecto de la asignación de la matriz de amortiguamiento. Finalmente en la Tabla II, se muestran los parámetros utilizados en el programa de SIMNON.

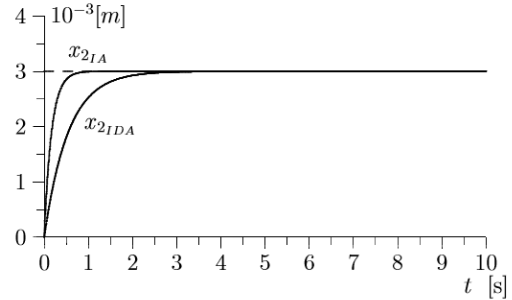


Figura 2. Trayectoria de la posición de la esfera

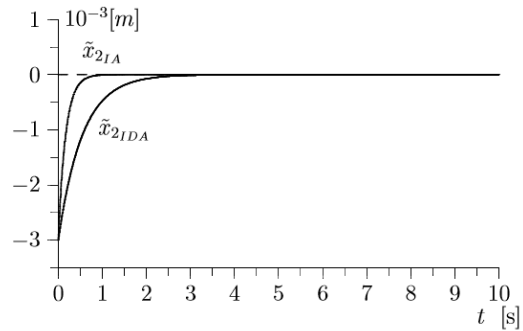


Figura 3. Evolución del error de posición

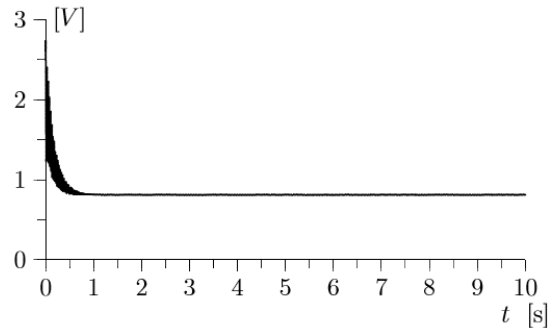


Figura 4. Desempeño de la señal de control

TABLA II  
PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS DE LA LEY DE CONTROL OBTENIDA POR EL MÉTODO DE INTERCONEXIÓN

Descripción	Símbolo	Valor	Unidades
Constante de asignación de interconexión	$\alpha$	33.4	N/A
Constante arbitraria positiva	$b$	$3.21 \times 10^3$	1/m
Constante proporcional	$k_p$	200.7	V/m

Observaciones. En las gráficas resultantes se puede apreciar que para un cambio de posición desde  $x_2 = 0\text{m}$  hasta  $x_{2*} = 0.003 \text{ m}$ , las respuestas obtenidas mediante la asignación de interconexión y la asignación de interconexión y amortiguamiento son semejantes, es decir, no muestran variaciones importantes, salvo el amortiguamiento evidente que presentan los resultados obtenidos vía asignación de interconexión y amortiguamiento.

### III. CONCLUSIÓN

Se ha presentado una descripción completa de un sistema de levitación magnética representado en la forma de sistemas hamiltonianos controlados por puerto, y se ha utilizado la metodología de control basado en pasividad con asignación de interconexión, también conocida como moldeo de energía total, para obtener la ley de control que asegurará la estabilidad asintótica en forma local del equilibrio deseado, validando los resultados obtenidos por software de simulación. Como trabajos futuros, se considerará el análisis de la fuente conmutada con la metodología IDA-PBC, que es de gran importancia en el suministro de energía de sistemas electromecánicos. Se hará la interconexión del sistema de levitación magnética con la fuente conmutada y se estudiará su comportamiento en conjunto. También se analizará el sistema de levitación magnética de dos grados de libertad, lo cual es una extensión directa del presente trabajo. Se contempla además el diseño de controladores para seguimiento de trayectorias de sistemas hamiltonianos controlados por puerto con aplicación al sistema de levitación magnética.

Finalmente, se aplicarán los resultados obtenidos a un sistema de levitación magnética de un grado de libertad con fines experimentales.

### IV. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por proporcionar todos los recursos necesarios para la realización del presente trabajo, por medio del Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico del mismo instituto.

### V. APÉNDICES

Se proporciona el código simplificado para la simulación con el software SIMNON, para el sistema de levitación magnética cuya ley de control se obtuvo por medio de la técnica de asignación de interconexión.

#### CONTINUOUS SYSTEM IA

"MAGNETIC LEVITATION SYSTEM

"Description: - Metodología IDA-PBC.

"INTERCONNECTION ASSIGNMENT : [IA].

" Author: Francisco Huerta Valenzuela.

" States, derivatives and time:

STATE x1 x2 x3

DER dx1 dx2 dx3

TIME t

" Initializations:

x1:0.0102 " sqrt(2kmg)

x2:0.000 "PART 2 x2:-0.005

x3:0.000

" Desired value position

x2d=0.003 " PART 2 x2:-0.015

" Equations:

"System's Dynamic

dx1= $(-R/k)*(c-x2)*x1+ux$

dx2= $(1/m)*x3$

dx3= $1/(2*k)*x1*x1-m*g$

"Interconnection Control Law [IA]

ux=t1+t2+t3+t4

t1= $(R/k)*(c-x2)*x1$

t2= $-Kp*((1/a)*(x1-x1d)+(x2-x2d))$

t3= $-(a/m)*x3$

t4= $-(R/a)*(1/(2*k))*(x1*x1)-m*g$

x1d=SQRT(2\*k\*m\*g) " Desired Electromagnetic Flux

x2e=x2-x2d " Error Position Signal

" Parameter values:

R:2.52

m:0.0844

c:0.005

k:0.000064042

g:9.81

Kp:200.7

a:33.4 " alpha

END

### VI. REFERENCIAS

- [1] David K. Cheng (1993), "Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería", Addison Wesley Longman, Quinta Edición.
- [2] Frederick J. Bueche (1991), "Fundamentos de Física, Tomo II", McGraw Hill, Quinta Edición.
- [3] John D. Kraus (1986), "Electromagnetismo", McGraw-Hill, Tercera Edición (Primera Edición en Español).
- [4] Arjan van der Schaft (2000), "L2-Gain and Passivity, Techniques in Nonlinear Control," Springer Verlag, Second Edition.
- [5] M. Takegaki, S. Arimoto (1981), "A New Feedback Method for Dynamic Control", ASME Dynamical Systems Control, vol 102, p119-125
- [6] Rafael Kelly y Víctor Santibañez (2003), "Control de Movimiento de Robots Manipuladores", Pearson Educación, Primera Edición
- [7] Romeo Ortega, Arjan J. van der Schaft, Iven Mareels and Bernhard Maschke (2001), "Putting Energy Back in Control", IEEE Control Systems Magazine, p18-p33, April 2001.
- [8] Hugo Rodríguez, Romeo Ortega and Houria Siguerdidjane (2000), "Passivity-Based Control of Magnetic Levitation Systems: Theory and Experiments", MTNS 2000.
- [9] Huerta Valenzuela, Francisco.(2004) "Moldeo de la energía total aplicado a sistemas electromecánicos," Tesis para Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, Departamento de Posgrado, Instituto Tecnológico de la Laguna.
- [10] Hassan K. Khalil (1996), "Nonlinear Systems", Prentice-Hall, Second Edition

- [11] Fujimoto, K.; Sakurama, K. y Sugie, T. (2003) "Trajectory tracking control of port-controlled Hamiltonian systems via generalized canonical transformations", *Automatica*, vol. 39, pp. 2059 - 2069.
- [12] Qiu, J. y Zhao, G. (2006) "PMSM Control with Port-Controlled Hamiltonian Theory," in *Proceedings IEEE First International Conference on Information and Control, 2006. ICICIC '06*, pp. 275-278.
- [13] Peterson, K.S.; Grizzle, J.W. y Stefanopoulou, A.G. (2006) "Nonlinear control for magnetic levitation of automotive engine vales ", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 14, pp. 346-354.
- [14] Velasco-Villa, M.;Castro-Linares, R. y Corona-Ramirez, L.(2001) "Modeling and passivity based control of a magnetic levitation sys," in *Proceedings IEEE International Conference on Control Applications, 2001. (CCA '01)*, pp. 64-69.



**Luis Amado González Vargas.** Nació en la ciudad de Lerdo, Dgo., el 25 de agosto de 1968. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo, Dgo. 2007. Recibió El grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en 2010.

Él ha participado en proyectos de investigación relacionados con estudios de la calidad de la energía en distintas empresas sus áreas de interés incluyen sistemas de potencia en régimen no senoidal y sistemas de control distribuido.

M.C. González es miembro activo de la IEEEE inscrito en la sociedad de potencia eléctrica.

## VII. BIOGRAFÍA



**M.C. Francisco Huerta Valenzuela.** Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 5 de agosto de 1979. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad en comunicaciones en el año 2002. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año

de 2004, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electromecánica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, diseño de controladores lineales y no lineales para sistemas electromecánicos, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.



**M.C. Angélica Velásquez Chávez.** Nació en la Ciudad de Gómez Palacio, Dgo. México el 25 de agosto de 1982. Egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad en comunicaciones en el año 2004. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad

de Torreón, Coah. México, en el año de 2007, en la especialidad en Mecatrónica y Control. Actualmente cursa estudios de doctorado en desarrollo educativo en la Universidad Autónoma de la Laguna.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Docente, la División de Ingeniería Electromecánica, el Instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la industria del gas y petróleo. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, diseño de controladores lineales y no lineales para sistemas electromecánicos, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia, desarrollo educativo.



**M.C. Noé Alvarado Tovar.** Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de julio de 1978. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2000. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah.

México, en el año de 2006, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores. Actualmente está en la etapa final del sus estudios de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electrónica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial, robótica, control electrónico. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, robótica, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.



**M.C. José Everardo Rivas de la O.** Ingeniero en Eléctrica egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2000. Premio Nacional de Matemáticas 1997. Recibió el grado de maestro en ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2005. Ha publicado en la Sociedad Matemática Mexicana y Canadá en el área de métodos numéricos y optimización.

Supervisor temporal de proyectos de construcciones eléctricas por parte de C.F.E. , pertenece a la sociedad Matemática Mexicana – Canadá, invitado a Who's Who in the World 2008., nominado a Top 100 Engineers 2010 y 2000 Outstanding Intellectuals of the 21 Century 2011 y docente del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Sus áreas de interés incluyen desarrollo tecnológico enfocado a la empresa privada, energías alternativas y sustentables, electrónica de potencia, máquinas eléctricas, métodos numéricos- optimización y control aplicado. Email: everito\_78nike@hotmail.com