

ISSN 2523-6806

Volumen 4, Número 13 — Enero — Junio - 2020

Revista de
Operaciones
Tecnológicas

ECORFAN®

ECORFAN-Taiwan

Editor en Jefe

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Operaciones Tecnológicas, Volumen 4, Número 13, de Enero a Junio - 2020, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: www.ecorfan.org/taiwan, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD. ISSN: 2523-6806. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 de Junio del 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

.

Revista de Operaciones Tecnológicas

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas de sistemas de producción, propiedades mecánicas, transmisión de datos, estandarización de procesos, ingeniería industrial, materiales compuestos, análisis cinemático, estudio cinético, generador de energía, procesos industriales y tecnológicos.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Operaciones Tecnológicas es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de sistemas de producción, propiedades mecánicas, transmisión de datos, estandarización de procesos, ingeniería industrial, materiales compuestos, análisis cinemático, estudio cinético, generador de energía, procesos industriales y tecnológicos con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD
Institut National Polytechnique de Grenoble

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD
Academia de Ciencias de Polonia

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD
Center of Research in Mathematics

NAZARIO - BAUTISTA, Elivar. PhD
Centro de Investigacion en óptica y nanofisica

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciences et Technologies de Lille

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

Comité Arbitral

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

CRUZ - BARRAGÁN, Aidee. PhD
Universidad de la Sierra Sur

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

BARRON, Juan. PhD
Universidad Tecnológica de Jalisco

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Operaciones Tecnológicas emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos- Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de sistemas de producción, propiedades mecánicas, transmisión de datos, estandarización de procesos, ingeniería industrial, materiales compuestos, análisis cinemático, estudio cinético, generador de energía, procesos industriales y tecnológicos y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Control por calculado para seguimiento de trayectoria aplicado a la dinámica de un robot de 3gdl con propósitos didácticos*, por HERNÁNDEZ-DURÓN, Juan Carlos, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha and OLIVARES-CABALLERO, Daniel, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, como segundo artículo presentamos, *Análisis termográfico y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio de docencia #1*, por MAYORQUIN-ROBLES, Jesús, MEDINA-MUÑOZ, Luis, RODRIGUEZ-SENDAY, José y VILLALVAZO-LAUREANO, Efrain, como tercer artículo presentamos, *Sistema de Gestión de demanda eléctrica basada en la Web*, por MORENO-DZUL, Julio, ALVAREZ-IBARRA, Maricela, SILVA-DZIB, Ismael y ARCEO-DIAZ, Rocío, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Cancún, como último artículo presentamos, *Diseño de un convertidor de potencia eléctrico para obtener menos pérdidas de energía*, por AUSTRIA, León, NORIEGA, Raymundo, CANALES, Benito y RUIZ, Luis.

Contenido

Artículo	Página
Control por calculado para seguimiento de trayectoria aplicado a la dinámica de un robot de 3gdl con propósitos didácticos HERNÁNDEZ-DURÓN, Juan Carlos, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha and OLIVARES-CABALLERO, Daniel <i>Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo</i>	1-8
Análisis termográfico y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio de docencia #1 MAYORQUIN-ROBLES, Jesús, MEDINA-MUÑOZ, Luis, RODRIGUEZ-SENDAY, José y VILLALVAZO-LAUREANO, Efrain	9-13
Sistema de Gestión de demanda eléctrica basada en la Web MORENO-DZUL, Julio, ALVAREZ-IBARRA, Maricela, SILVA-DZIB, Ismael y ARCEO-DIAZ, Rocío <i>Universidad Tecnológica de Cancún</i>	14-22
Diseño de un convertidor de potencia eléctrico para obtener menos pérdidas de energía AUSTRIA, León, NORIEGA, Raymundo, CANALES, Benito y RUIZ, Luis	23-29

Control par calculado para seguimiento de trayectoria aplicado a la dinámica de un robot de 3gdl con propósitos didácticos

Torque control calculated for trajectory tracking applied to the dynamics of a 3gdl robot for educational purposes

HERNÁNDEZ-DURÓN, Juan Carlos†*, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha and OLIVARES-CABALLERO, Daniel

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

ID 1^{er} Autor: *Juan Carlos, Hernández-Durón* / ORC ID: 0000-0002-6707-574X

ID 1^{er} Coautor: *José Luis, Ortiz-Simón* / ORC ID: 0000-0001-6548-3849, CVU CONACYT ID: 209883

ID 2^{do} Coautor: *Martha, Aguilera-Hernandez* / ORC ID: 0000-0001-8127-190X, CVU CONACYT ID: 19115

ID 3^{er} Coautor: *Daniel, Olivares-Caballero*

DOI: 10.35429/JTO.2020.13.4.1.8

Recibido 10 de Marzo, 2020, Aceptado, 30 de Junio, 2020

Resumen

El artículo muestra el procedimiento necesario para obtener el modelo dinámico de un robot, con el propósito de poder seguir una trayectoria deseada implementando una ley de control por par calculado. El robot fue diseñado de manera sencilla por motivos didácticos. Este posee tres grados de libertad, cuatro eslabones y tres articulaciones para desplazarse en su espacio de trabajo, dos de estas articulaciones son de revolución mientras que la tercera es una articulación prismática. El modelo dinámico del robot es obtenido utilizando los jacobianos y símbolos de Christoffel del centro de masa de cada eslabón. Además de incluir el vector de fuerzas gravitatorias y las fricciones de las articulaciones. El objetivo del modelo dinámico es poder simular el robot en "Simulink" y probar distintas trayectorias utilizando la ley de control de par calculado en las que las ganancias del control serán manipuladas hasta encontrar un valor que satisfaga la trayectoria deseada.

Control par calculado, Modelo dinámico de un robot, Seguimiento de trayectorias

Abstract

The article shows the needed procedure to obtain the dynamic model of a robot, with the purpose of being able to follow a planned path using the control law "CTC" Computed Torque Control. The robot was designed in a simple way for didactic reasons, this robot has three degrees of freedom, four links and three joints to move around in the work place. Two out of these joints are rotatory joints meanwhile the third one is a prismatic joint. The dynamic model of the robot is obtained using the Jacobians and Christoffel symbols of the center of mass of each link. Also including the Gravitational vector and the frictions of each joint. The objective of the dynamic model is to be able to simulate the robot in "Simulink" and test different paths using the computed torque control in which the gains of the control will be manipulated until a value that satisfies the desired path is found

Computed torque control, Dynamic model of a robot, Path and trajectory planning

Citación: HERNÁNDEZ-DURÓN, Juan Carlos, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha and OLIVARES-CABALLERO, Daniel. Control par calculado para seguimiento de trayectoria aplicado a la dinámica de un robot de 3gdl con propósitos didácticos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-13: 1-8

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: jchdsec10@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En el área de ingeniería Mecatrónica, los estudiantes tienen múltiples asignaturas las cuales les enseñan a modelar diferentes mecanismos para conocer el comportamiento de estos, ser capaces de controlar sus movimientos, optimizar el consumo seleccionando los actuadores necesarios y simular sistemas de control para seguir una trayectoria y realizar alguna tarea específica.

Aunque el tema del control de los mecanismos y su análisis ya sea un tema algo revisto, usualmente en la literatura se toman ejemplos muy generalizados los cuales pueden llegar a confundir a los lectores en la forma de cómo aplicar los procedimientos explicados, o en otros casos es lo contrario y los ejemplos son demasiados sencillos al grado que el lector puede terminar con dudas de cómo proceder al trabajar con mecanismos más complejos.

Este artículo desarrolla el procedimiento necesario para obtener el análisis y modelo matemático de una cadena cinemática, esto con el motivo de tener una simulación de este y poder observar su comportamiento ante las fuerzas aplicadas en sus actuadores. En base a este modelo generar un sistema de control por par calculado, el cual se encargará de que la trayectoria sea seguida de manera correcta y que se pueda realizar la tarea designada.

Diseño mecánico

Se optó por diseñar un robot de cuatro eslabones y tres articulaciones con el propósito de tener un sistema demostrativo con dos uniones revolutas y una prismática.

El eslabón 0 o la superficie a la que se sujeta el robot se encuentra unido por una junta rotativa al eslabón 1, de igual manera el eslabón 1 y 2 se unen por una junta de este tipo. Los eslabones 2 y 3 se unen mediante una junta prismática. La orientación y posición de los eslabones se observa en la figura 1.

Marcos referenciales

Los marcos referenciales se asignan de acuerdo a la convención Denavit Hartenberg (DH). Ver figura 1.

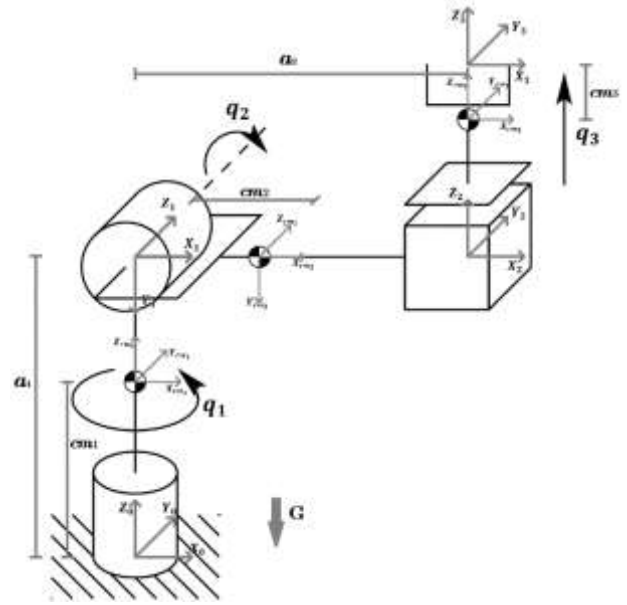


Figura 1 Diseño del robot con sus marcos referenciales

De acuerdo a la convención DH se obtiene la tabla de parámetros indicada en la tabla 1.

i	a_i	α_i	d_i	θ_i
cm_1	0	0	cm_1	q_1
1	0	$-\pi/2$	a_1	q_1
cm_2	cm_2	0	0	q_2
2	a_2	$\pi/2$	0	q_2
cm_3	0	0	$q_3 - cm_3$	0
3	0	0	q_3	0

Tabla 1 Tabla de parámetros de eslabón y centros de masa

Cinemática directa

En base a los datos de la tabla 1 se obtienen las matrices de transformación de cada marco referencial respecto al marco anterior.

La matriz de transformación contiene en su interior una matriz de rotación y un vector de posición (ver ecuación 1). La matriz de rotación representa la orientación del marco que se analiza y el vector la posición de este.

$$T = \begin{bmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & P_x \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & P_y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

La matriz de transformación generalizada está dada por la ecuación 2

$${}^{i-1}_i T = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\alpha_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Considerando $c_{\theta_i} = \cos \theta_i$ y de igual forma $s_{\theta_i} = \sin \theta_i$.

Debido a que el objetivo del robot es manipular objetos con el efector final es necesario obtener una ecuación que relacione la orientación y posición del efector final con referencia al marco referencial 0. La matriz de transformación de 3 a 0 se obtiene usando las matrices de los eslabones 1, 2 y 3 y aplicando algebra lineal.

$${}^0T = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 \quad (3)$$

$${}^0T = \begin{bmatrix} c_1 c_2 & -s_1 & c_1 s_2 & c_1(a_2 c_2 + q_3 s_2) \\ c_2 s_1 & c_1 & s_1 s_2 & s_1(a_2 c_2 + q_3 s_2) \\ -s_2 & 0 & c_2 & a_1 - a_2 s_2 + q_3 c_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Considerando $c_i = \cos q_i$, $s_i = \sin q_i$
con $q_i = \begin{cases} \theta_i & \text{para union revoluta} \\ d_i & \text{para union prismatica} \end{cases}$

La ecuación 4 contiene las 12 ecuaciones que corresponden al modelo cinemático directo del efector final.

$$\begin{aligned} r_{11} &= c_1 c_2 \\ r_{21} &= c_2 s_1 \\ r_{31} &= -s_2 \\ r_{12} &= -s_1 \\ r_{22} &= c_1 \\ r_{32} &= 0 \\ r_{13} &= c_1 s_2 \\ r_{23} &= s_1 s_2 \\ r_{33} &= c_2 \\ d_x &= c_1(a_2 c_2 + q_3 s_2) \\ d_y &= s_1(a_2 c_2 + q_3 s_2) \\ d_z &= a_1 + q_3 c_2 - a_2 s_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Centros de masa

El modelo dinámico del robot requiere las posiciones y orientaciones de los centros de masa de cada eslabón. La figura 1 muestra la posición y orientación de los marcos referenciales de los centros de masa. Los parámetros de los centros de masa se observan en la tabla 1.

Modelo dinámico

El modelo dinámico relaciona las fuerzas y pares aplicados con los movimientos articulares. La tabla 1 contiene los componentes necesarios para obtener el modelo dinámico del robot.

La ecuación 6 corresponde al vector de fuerzas y torques que se aplica a las articulaciones.

$$\tau = D_{(q)} \ddot{q} + C_{(q, \dot{q})} \dot{q} + G_{(q)} + F_r \dot{q} \quad (6)$$

Donde D corresponde a la matriz de inercias, C es la matriz de coriolis, G corresponde al vector de fuerzas gravitacionales y F_r contiene las fuerzas de fricción de las articulaciones.

Matriz de inercias ($D_{(q)}$)

La obtención de la matriz de inercias "D" se realiza según la ecuación 7, esta ecuación requiere los jacobianos de cada centro de masa.

$$D = \sum_{i=1}^n (m_i J_{v_{cm_i}}^T J_{v_{cm_i}} + J_{\omega_{cm_i}}^T {}_{i-1}^0 R I_i {}_{i-1}^0 R^T J_{\omega_{cm_i}}) \quad (7)$$

El jacobiano contiene tanto el jacobiano de velocidad lineal " J_{v_i} " como el jacobiano de velocidad angular " J_{ω_i} ", ambos necesarios para obtener la matriz de inercias. Mientras que ${}_{i-1}^0 R$ corresponde a la matriz de rotación anterior del eslabón que se analiza con respecto al marco 0. I_i corresponde al tensor de inercia del eslabón.

$$J_i = \begin{bmatrix} J_{v_i} \\ J_{\omega_i} \end{bmatrix} \quad (8)$$

El método de obtención de los jacobianos fue el producto cruz. Debido a que las articulaciones 1 y 2 son rotativas se usó la ecuación 10 para obtener sus jacobianos. Mientras que para la articulación 3 se aplicó la ecuación 11. Las ecuaciones se aplicaron múltiples veces hasta alcanzar el valor i del eslabón. Después se procedió a llenar con 0 los jacobianos hasta que tuvieran la forma de la ecuación 9

$$J = [J_1 \quad J_2 \quad J_3] \quad (9)$$

$$J_i = \begin{bmatrix} Z_{i-1} \times ({}^0P_n - {}_{i-1}^0P) \\ Z_{i-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$J_i = \begin{bmatrix} Z_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$J_{cm_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$J_{cm_2} = \begin{bmatrix} -cm_2c_2s_1 & -cm_2c_1s_2 & 0 \\ cm_2c_1c_2 & -cm_2s_1s_2 & 0 \\ 0 & -cm_2c_2 & 0 \\ 0 & -s_1 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$J_{cm_3} = \begin{bmatrix} s_1s_2\widehat{q}_3 - a_2c_2s_1 & -a_2c_1s_2 - c_1c_2\widehat{q}_3 & c_1s_2 \\ a_2c_1c_2 - c_1s_2\widehat{q}_3 & -a_2s_1s_2 - c_2s_1\widehat{q}_3 & s_1s_2 \\ 0 & s_2\widehat{q}_3 - a_2c_2 & c_2 \\ 0 & -s_1 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Considerando $\widehat{q}_3 = (cm_3 - q_3)$.

Las matrices de los tensores de inercia se tomaron como matrices generalizadas.

$$I_i = \begin{bmatrix} I_{xx_i} & I_{xy_i} & I_{xz_i} \\ I_{yx_i} & I_{yy_i} & I_{yz_i} \\ I_{zx_i} & I_{zy_i} & I_{zz_i} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Una vez obtenidos los jacobianos de los tres centros de masa correspondientes a cada eslabón, es posible calcular la matriz de inercia del robot usando la ecuación 7.

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix}$$

$$D_{11} = I_{xx_3} + I_{yy_2} + I_{zz_1} + cm_3^2m_3 + m_3q_3^2 - I_{xx_3}c_2^2 + I_{zz_3}c_2^2 - I_{xz_3}c_2s_2 - 2cm_3m_3q_3 + a_2^2m_3c_2^2 + cm_2^2m_2c_2^2 - cm_3^2m_3c_2^2 - q_3^2c_2^2 + 2cm_3m_3q_3c_2^2 - 2a_2cm_3m_3c_2s_2 + 2a_2m_3q_3c_2s_2$$

$$D_{12} = I_{yz_3}c_2 - I_{yz_2} - I_{xy_3}s_2$$

$$D_{13} = 0$$

$$D_{21} = I_{yz_3}c_2 - I_{yz_2} - I_{xy_3}s_2$$

$$D_{22} = m_3a_2^2 + m_2cm_2^2 + m_3cm_3^2 - 2m_3cm_3q_3 + m_3q_3^2 + I_{yy_3} + I_{zz_2}$$

$$D_{23} = -a_2m_3$$

$$D_{31} = 0$$

$$D_{32} = -a_2m_3$$

$$D_{33} = m_3 \quad (16)$$

Matriz de Coriolis ($C_{(q,\dot{q})}$)

La obtención de la matriz de Coriolis se realizó usando los símbolos de Christoffel. La ecuación 17 muestra la formula general para obtener los símbolos de Christoffel.

$$C_{i,j,k} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial d_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial d_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial d_{ij}}{\partial q_k} \right\} \quad (17)$$

Donde los elementos

$$C_{kj} = \sum_{i=1}^n (c_{ijk}\dot{q}_i) \quad (18)$$

Forman la matriz de Coriolis de la forma

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}$$

$$C_{11} = \frac{I_{xx_3}q_2s_2q_2}{2} - I_{xz_3}q_2c_2q_2 - \frac{I_{zz_3}q_2s_2q_2}{2} - \frac{cm_3m_3q_3}{2} + \frac{m_3q_3q_3}{2} - \frac{a_2^2m_3q_2s_2q_2}{2} - \frac{cm_2^2m_2q_2s_2q_2}{2} + \frac{cm_3^2m_3q_2s_2q_2}{2} + \frac{m_3q_3^2q_2s_2q_2}{2} + \frac{cm_3m_3q_3c_2q_2}{2} + \frac{a_2m_3q_3s_2q_2}{2} - \frac{m_3q_3q_3c_2q_2}{2} - a_2cm_3m_3q_2c_2q_2 + a_2m_3q_3q_2c_2q_2 - cm_3m_3q_3q_2s_2q_2$$

$$C_{12} = \frac{m_3q_1s_2q_2cm_3^2}{2} - m_3q_1s_2q_2cm_3q_3 - a_2m_3q_1c_2q_2cm_3 + \frac{m_3q_1s_2q_2q_3^2}{2} + a_2m_3q_1c_2q_2q_3 - I_{xz_3}q_1c_2q_2 + \frac{I_{xx_3}q_1s_2q_2}{2} - \frac{I_{zz_3}q_1s_2q_2}{2} - I_{xy_3}q_2c_2 - I_{yz_3}q_2s_2 - \frac{a_2^2m_3q_1s_2q_2}{2} - \frac{cm_2^2m_2q_1s_2q_2}{2}$$

$$C_{13} = m_3q_1(2q_3 - 2cm_3 + a_2s_2q_2 - 2q_3c_2^2 + 2cm_3c_2^2)/2$$

$$C_{21} = q_1 \left(I_{xz_3}c_2q_2 - \frac{I_{xx_3}s_2q_2}{2} + \frac{I_{zz_3}s_2q_2}{2} + \frac{a_2^2m_3s_2q_2}{2} + \frac{cm_2^2m_2s_2q_2}{2} - \frac{cm_3^2m_3s_2q_2}{2} - \frac{m_3q_3^2s_2q_2}{2} + a_2cm_3m_3c_2q_2 - a_2m_3q_3c_2q_2 + cm_3m_3q_3s_2q_2 \right)$$

$$C_{22} = -m_3q_3(cm_3 - q_3)$$

$$C_{23} = -m_3q_3(cm_3 - q_3)$$

$$C_{31} = cm_3m_3q_1 - m_3q_3q_1 - cm_3m_3q_1c_2^2 + m_3q_3q_1c_2^2 - a_2m_3q_1c_2s_2$$

$$C_{32} = cm_3m_3q_2 - m_3q_3q_2$$

$$C_{33} = 0 \quad (19)$$

Tomando en cuenta que $s_{2q_i} = \text{sen } 2q_i$ y $c_{2q_i} = \text{cos } 2q_i$

Vector de fuerzas gravitacionales ($G_{(q)}$)

El vector gravitacional contiene la fuerza producida por la gravedad en cada articulación. Este es obtenido mediante la ecuación 21 la cual requiere la energía potencial (ecuación 20)

$$E_p = \sum_{i=1}^n (m_i g^T \mathbf{0}_i P) \quad (20)$$

$$G = \frac{\partial E_p}{\partial q_i} \quad (21)$$

HERNÁNDEZ-DURÓN, Juan Carlos, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha and OLIVARES-CABALLERO, Daniel. Control par calculado para seguimiento de trayectoria aplicado a la dinámica de un robot de 3gdl con propósitos didácticos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020

$$G = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \end{bmatrix}$$

$$G_1 = 0$$

$$G_2 = g m_3 (a_2 c_2 - s_2 (c m_3 - q_3)) - c m_2 g m_2 c_2$$

$$G_3 = g m_3 c_2 \quad (22)$$

Fricción (F_r)

Las articulaciones que unen los eslabones poseen fricción, por motivos de simplicidad a la matriz de fricciones se le asignaron valores de uno.

$$F_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Simulación en Simulink de Matlab 2015

Para a simulación en Simulink se requiere el modelo dinámico anteriormente obtenido (ecuación 6) y se manipula algebraicamente a manera de despejar \ddot{q} . Esto se realiza para poder conocer el valor articular de las articulaciones en base a la fuerza que se introduzca al sistema.

$$\ddot{q} = D^{-1}(\tau - C\dot{q} - G - F_r\dot{q}) \quad (24)$$

La ecuación 24 se introducirá en un bloque de función en Simulink, posteriormente se le asignaran los valores necesarios para las constantes. Las constantes del robot se obtuvieron al realizar un modelo en SOLIDWORKS con una aleación de aluminio 1060 como material y se inspeccionaron las propiedades de cada eslabón para obtener las masas y tensores de inercia correspondientes.

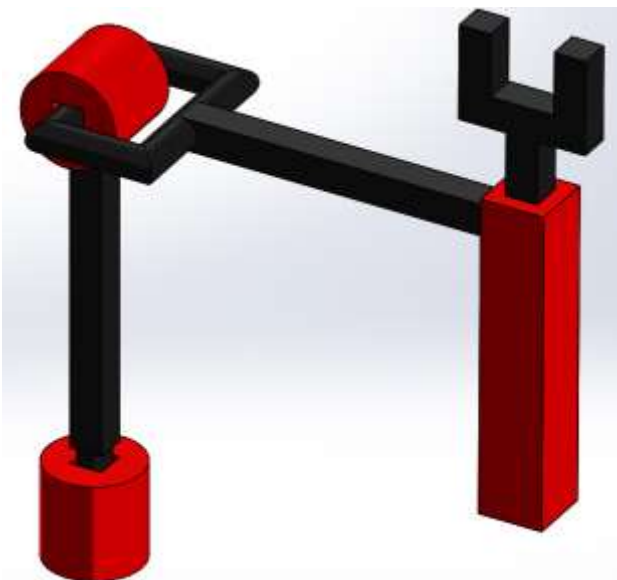


Figura 2 Modelo del robot en SOLIDWORKS 2019

La figura 2 muestra el modelo realizado en SOLIDWORKS 2019. El set de ecuaciones 25 muestra las constantes necesarias para simular el modelo en Simulink.

$$a_1 = 0.1m$$

$$a_2 = 0.1m$$

$$c m_1 = 0.07045m$$

$$c m_2 = 0.04375m$$

$$c m_3 = 0.05214m$$

$$m_1 = 0.03442 \text{ Kg}$$

$$m_2 = 0.05988 \text{ Kg}$$

$$m_3 = 0.04860 \text{ Kg}$$

$$I_1 = \begin{bmatrix} 5.00 * 10^{-5} & 0 & 0 \\ 0 & 5.00 * 10^{-5} & 0 \\ 0 & 0 & 5.42 * 10^{-7} \end{bmatrix} \text{ Kg m}^2$$

$$I_2 = \begin{bmatrix} 1.35 * 10^{-5} & 2.4 * 10^{-10} & -2.52 * 10^{-9} \\ 2.4 * 10^{-10} & 1.05 * 10^{-4} & -1.1 * 10^{-10} \\ -2.52 * 10^{-9} & -1.1 * 10^{-10} & 9.24 * 10^{-5} \end{bmatrix} \text{ Kg m}^2$$

$$I_3 = \begin{bmatrix} 7.14 * 10^{-5} & 0 & 0 \\ 0 & 7.52 * 10^{-5} & 0 \\ 0 & 0 & 4.59 * 10^{-6} \end{bmatrix} \text{ Kg m}^2 \quad (25)$$

Ley de control par calculado

Esta ley de control se basa en separar los términos lineales y no lineales, esto se realiza con el propósito de obtener una respuesta lineal y un comportamiento más uniforme.

La ecuación 6 se puede reescribir de la siguiente manera: (ver ecuación 26)

$$\tau = Y_{(\ddot{q}, \dot{q}, q)} \theta \quad (26)$$

La separación de los términos no es más que una factorización de los componentes donde “Y” contiene todos los términos no lineales y “ θ ” los términos lineales.

Una vez obtenidos los términos necesarios se agregó la señal de control $\hat{\tau}$

$$\tau = \hat{\tau} + Y_{(\ddot{q}, \dot{q}, q)} \theta \quad (27)$$

considerando $\hat{\tau} = K_v \Delta \dot{q} + K_p \Delta q$ donde K_p y K_v representan las ganancias, Δq y $\Delta \dot{q}$ los errores de posición y velocidad.

El modelo en Simulink aplicando la ecuación 27 se puede observar en la figura 3

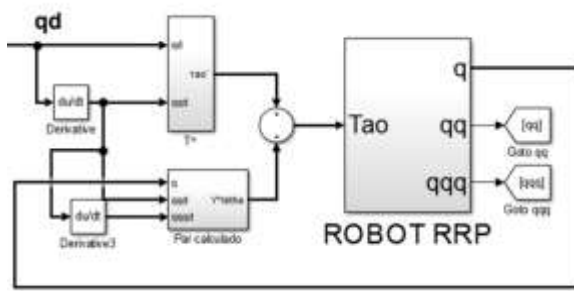


Figura 3 Control par calculado en Simulink

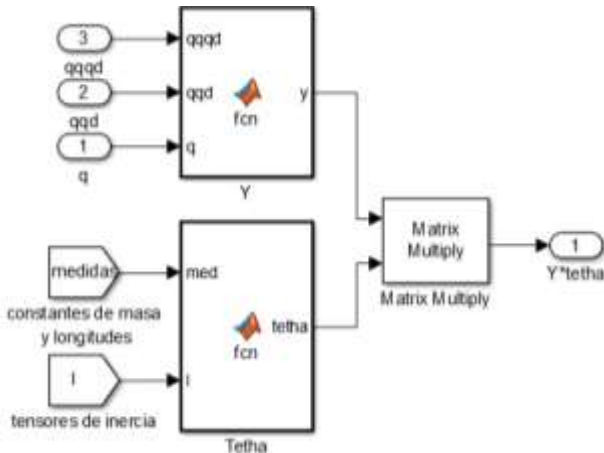


Figura 4 Matriz Y y vector θ

El regresor y el vector θ se encuentran dentro del bloque “Y*tetha” (figura 4), mientras que los componentes del bloque T’ se pueden observar en la figura 5.

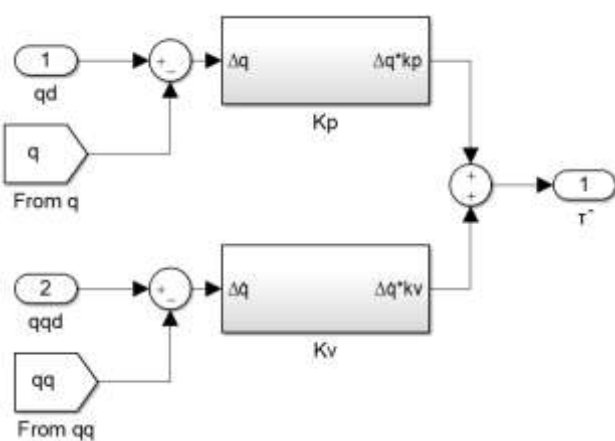


Figura 5 Contenido del bloque T’

El contenido de los bloques Kp y Kv es simplemente son las ganancias que multiplican al error correspondiente.

<i>i</i>	1	2	3
K_p	7	6	5
K_v	1	1	1

Tabla 2 Ganancias K_p y K_v

Modelo Cinemático Inverso

Para poder trabajar en el espacio cartesiano de manera adecuada es necesario tener el modelo cinemático inverso, este se encargará de convertir las coordenadas cartesianas a valores articulares los cuales serán usados por la ley de control.

El valor articular para cada articulación se obtiene en función a las posiciones deseadas. La figura 6 muestra el robot en una posición de la cual se pueden despejar los valores articulares usando funciones trigonométricas. Las ecuaciones 28, 29 y 30 muestran el valor necesario para alcanzar la posición deseada.

$$q_1 = \tan^{-1}(Y_d/X_d) \tag{28}$$

$$q_2 = \cos^{-1}\left(\frac{Z_d - a_1}{\sqrt{X_d^2 + Y_d^2 + (Z_d - a_1)^2}}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{a_2}{\sqrt{X_d^2 + Y_d^2 + (Z_d - a_1)^2}}\right) \tag{29}$$

$$q_3 = \sqrt{X_d^2 + Y_d^2 + (Z_d - a_1)^2} - a_2 \tag{30}$$

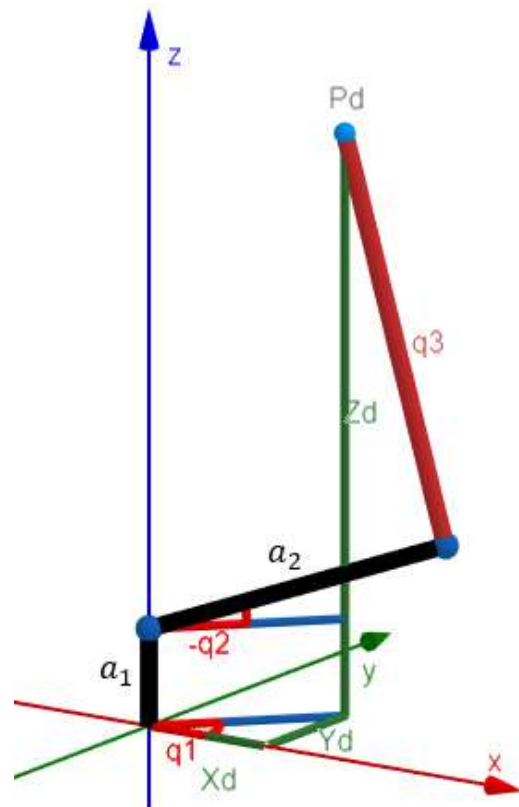


Figura 6 Proyección ortográfica del robot

Trajectory

La trayectoria que se probó se encuentra descrita por la ecuación 31 esta trayectoria es una espiral que comienza desde abajo hacia arriba (grafico 1).

$$T_d = \begin{bmatrix} 0.2 + .1 \cos(5t + \pi/2) \\ .2 \sin(5t + \pi/2) \\ 0.15 + t/10 \end{bmatrix} \quad (31)$$

El modelo final incluyendo los bloques de cinemática inversa y trayectoria se puede observar en la figura 7.

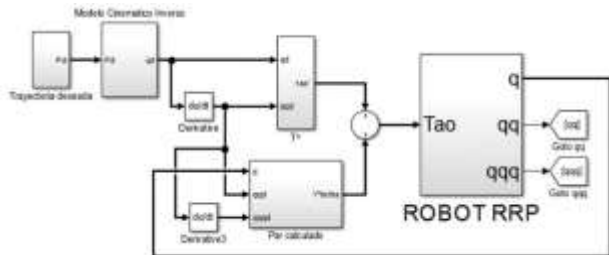


Figura 7 Modelo del robot en Simulink

Resultados

El robot con una posición inicial según la ecuación 32 y siguiendo la trayectoria descrita por la ecuación 31 tiene una respuesta aceptable con un error inicial pero después de un cierto tiempo logra converger en la trayectoria deseada. En el gráfico 1 se puede ver la trayectoria deseada en verde y la trayectoria del efector final en azul

$$P_0 = \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0 \\ 0.15 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Mientras que el gráfico 2 muestra los valores articulares en el tiempo. Teniendo en cuenta que las líneas en verde representan la articulación 1, las de color azul la articulación 2 y en naranja la articulación 3. Las líneas punteadas representan el valor articular necesario para seguir la trayectoria deseada, y las líneas continuas son los valores articulares reales del robot.

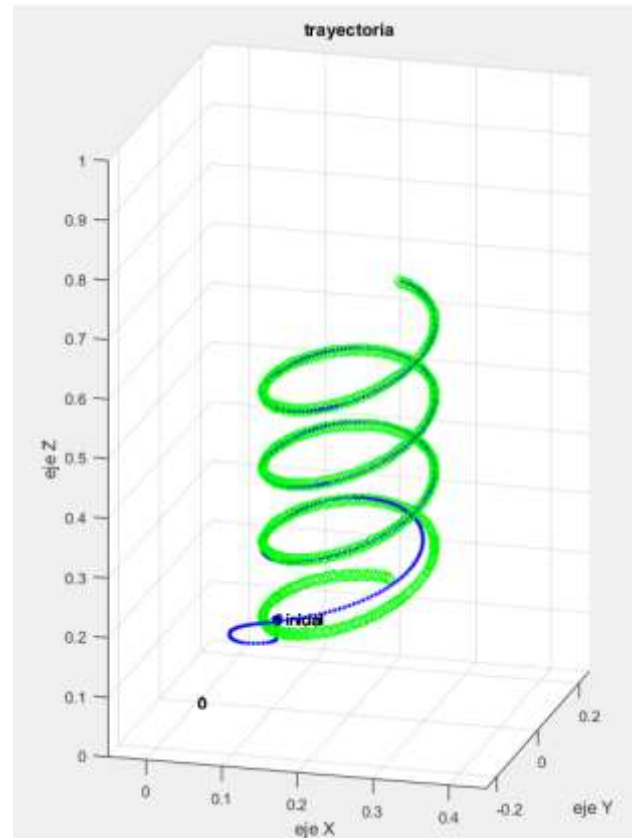


Gráfico 1 Comparación de trayectoria deseada con la trayectoria descrita

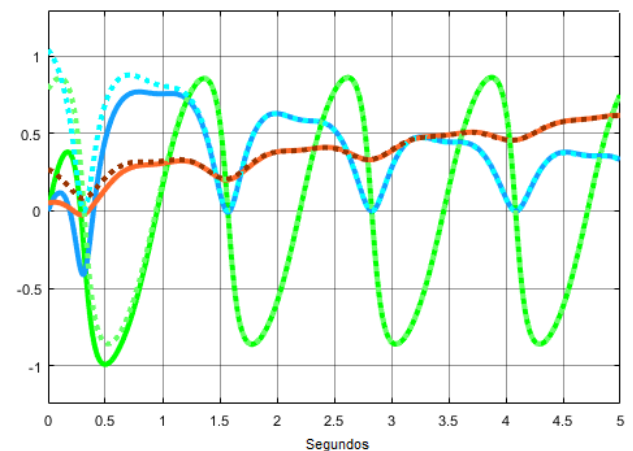


Gráfico 2 Valores articulares en el tiempo; q₁(verde) y q₂ (azul) en radianes, q₃ (naranja) en metros

Conclusión

El gráfico 1 nos muestra a el efector final logrando alcanzar la trayectoria final con un pequeño margen de error al comienzo. Si se observa el grafico 2, el efector final convergió en la trayectoria final a los 1.25 segundos aproximadamente, esto debido a que la articulación dos fue la ultima en converger en el valor articular deseado, mientras que las articulaciones 1 y 3 convergieron al transcurrir un segundo.

El control por par calculado resulta ser un control muy preciso debido a que toma en cuenta las velocidades y aceleraciones articulares, además de que al separar los términos entre lineales y no lineales, se logra tener un control más uniforme.

El artículo desarrolla el diseño, modelado y control del robot, con motivos didácticos a manera de servir como guía para cualquier lector con dudas en como modelar o controlar algún robot.

Referencias

[1] Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2005). *Robot Modeling and Control* (1.a ed., Vol. 1). Wiley.

[2] Craig, J. J. (2006). *Robotica* (3.a ed., Vol. 1). Pearson Educación de México.

[3] Salinas, S. A., & Vivas Albán, O. A. (2009). MODELADO, SIMULACIÓN Y CONTROL DEL ROBOT PARA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA «LAPBOT». *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 17(3), 324-327. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052009000300005>

[4] Ortiz Simón, J. L., Minor Martínez, A., Ordorica Flores, R., Limón Aguilar, J. L., & Suaste, E. (2011). *Kinematic fundamentals of a biomechatronic laparoscopy system*. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 7(3), n/a. <https://doi.org/10.1002/rcs.395>

Análisis termográfico y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio de docencia #1

Thermographic analysis and proposal for improvements for the energy efficiency of the teaching building # 1

MAYORQUIN-ROBLES, Jesús†*, MEDINA-MUÑOZ, Luis, RODRIGUEZ-SENDAY, José y VILLALVAZO-LAUREANO, Efrain

ID 1^{er} Autor: *Jesús, Mayorquin-Robles*

ID 1^{er} Coautor: *Luis, Medina-Muñoz*

ID 2^{do} Coautor: *José, Rodriguez-Senday*

ID 3^{er} Coautor: *Efrain, Villalvazo-Laureano*

DOI: 10.35429/JTO.2020.13.4.9.13

Recibido 10 de Marzo, 2020, Aceptado, 30 de Junio, 2020

Resumen

Este trabajo contiene información técnica y resultados del diagnóstico energético realizado en el inmueble de la Universidad Tecnológica de Nogales-Edificio Docencia #1, ubicado en la ciudad de Nogales, Sonora, México. Se contempla la realización de un diagnóstico energético, instalación de registradores de parámetros eléctricos, análisis de datos históricos de consumo y demanda facturada, censos de carga, registros termográficos y de luminotecnía. Esto con la finalidad de obtener propuestas de mejoras basadas en los potenciales ahorro identificados en los sistemas estudiados.

Termografía, Demanda Facturada, Luminotecnía, Diagnostico Energético, Parámetros Eléctricos

Abstract

This work contains technical information and results of energy diagnosis made in the building of the Technological University of Nogales - Teaching Building # 1, located in the city of Nogales , Sonora ,Mexico. Conducting energy diagnostics , installation of electrical parameters recorders , historical data analysis and billed consumer demand , freight surveys , thermographic records and lighting is contemplated. This in order to obtain proposals for improvements based on potential savings identified in the systems studied.

Thermography, Demand Billed, Lighting, Diagnostic Energy, Power Parameters

Citación: MAYORQUIN-ROBLES, Jesús, MEDINA-MUÑOZ, Luis, RODRIGUEZ-SENDAY, José y VILLALVAZO-LAUREANO, Efrain. Análisis Termográfico y Propuesta de Mejoras para la Eficiencia Energética del Edificio de Docencia #1 Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-13: 9-13

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: ing.mayo@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Ante la magnitud con la que se dejan sentir los efectos del calentamiento global, generado por las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), que se reflejan en fenómenos meteorológicos, pérdidas materiales a causa de sequías e inundaciones, con los consecuentes daños económicos y sociales, resulta impostergable el diseño, adopción y aplicación de medidas orientadas al uso eficiente de la energía eléctrica y por tanto a la disminución de emisión de contaminantes a la atmósfera.

Es precisamente con este propósito que se pretende trabajar plenamente comprometido en logra metas que contribuyan al desarrollo sustentable dentro de la institución y así mismo a consolidar la estrategia nacional de transición energética y aprovechamiento sustentable de la energía, siempre con una actitud vinculante con todos los sectores de la sociedad.

Planteamiento

Los análisis, mediciones y evaluaciones de los principales equipos, sistemas y procesos consumidores de energía en la Institución, han permitido determinar la eficiencia energética y las posibilidades de mejora, modernización y ahorro de las mismas. A estos análisis, evaluaciones y mediciones, cuando se realizan de manera sistemática, objetiva y metodológica se atribuye el nombre de 'diagnósticos energéticos'. Los diagnósticos energéticos permiten determinar los potenciales de ahorro de energía involucrados en los procesos.

Para llevar a cabo este análisis energético se utilizó la termografía infrarroja, la cual es una técnica no destructiva que permite medir, a través de una cámara termográfica, la temperatura de una superficie y localizar con precisión las pérdidas y demandas de energía; por tanto con el empleo de esta técnica nos ayudará a estudiar las propiedades energéticas o niveles de aislamiento del edificio de docencia # 1 de la Universidad Tecnológica de Nogales Sonora México.

El presente trabajo se mostrará información técnica y resultados del diagnóstico energético realizado a dicho inmueble. El edificio analizado cuenta con aulas de clase, oficinas para profesores y un laboratorio de cómputo.

A continuación, en la figura 1 se presenta la ubicación y orientación del inmueble a través de una imagen satelital.



Figura 1 Imagen Satelital del Edificio

Desarrollo Diagnostico Energetico

Para iniciar el proceso de implementación de ahorro de energía eléctrica, se debe llevar a cabo una reunión de coordinación con los reponsables de la superficie de la edificación a la cual se le realizará el estudio. Esto con la finalidad de poder identificar las características principales sobre el comportamiento energético de la institución, así como también para tener en cuenta el periodo de utilización de la energía dentro del inmueble.

Por tanto, será necesario un recorrido preliminar por las instalaciones con el objetivo de lograr una inspección visual de las áreas en general, para así poder obtener un panorama generalizado del estado energético y las oportunidades de ahorro de energía eléctrica existentes. Con el desarrollo de dicha actividad se busca tener especial atención en los hábitos de las personas que hacen uso del inmueble, el estado general de los equipos, la antigüedad de los mismos, el nivel de iluminación de las áreas, entre otras cosas adicionales.

Para estimar el uso de la energía eléctrica en la edificación estudiada y determinar las mediciones que posteriormente se realizaran, fue necesario representar datos históricos de demanda eléctrica facturada de al menos los 2 últimos años, para evaluar el comportamiento energético del usuario y detectar patrones de consumo, tal y como lo muestra el Gráfico 1 y la Tabla 1.

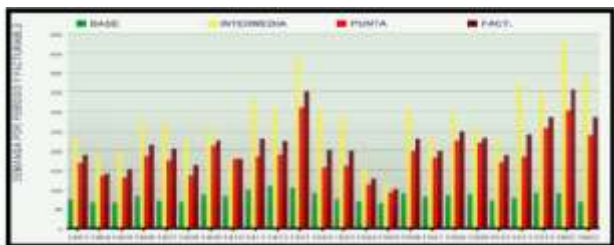


Gráfico 1 Demanda Facturable

FECHA	BASE	INTER	PUNTA	FACTURABLE
201403	73	232	188	188
201404	65	183	134	140
201405	65	196	131	151
201406	81	280	185	214
201407	69	269	175	204
201408	66	222	136	162
201409	85	253	211	224
201410	81	176	178	178
201411	98	331	184	229
201412	109	300	189	223
201501	104	444	309	350
201502	91	304	156	201
201503	73	287	161	199
201504	67	160	113	128
201505	63	117	93	101
201506	88	301	198	229
201507	80	235	181	198
201508	83	300	224	247
201509	86	255	220	231
201510	69	227	169	187
201511	77	365	184	239
201512	92	345	257	284
201601	89	477	302	355
201602	66	389	238	284

Tabla 1 Datos de Demanda Facturable en kWh

Por otra parte tenemos los datos arrojados del comportamiento histórico del consumo, los cuales están ilustrado en la siguiente Gráfica 2 y Tabla 2.

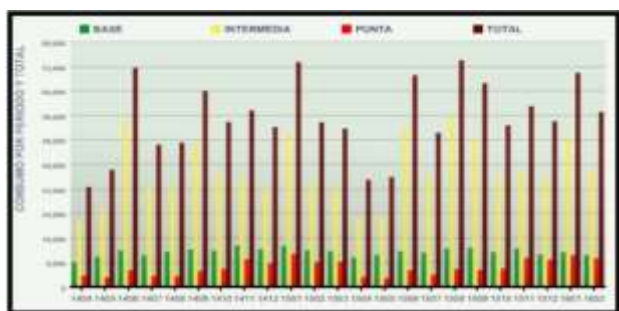


Gráfico 2 Consumos

FECHA	BASE	INTER	PUNTA	TOTAL
201403	12,180	29,848	8,078	50,106
201404	7,758	21,378	3,498	32,620
201405	9,562	25,634	2,926	38,122
201406	11,928	54,264	5,236	71,428
201407	10,052	32,810	3,332	46,200
201408	11,452	32,130	3,276	46,858
201409	12,194	46,522	5,012	63,728
201410	11,872	36,176	5,740	53,788
201411	13,468	35,266	8,792	57,526
201412	12,236	32,354	7,532	52,122
201501	13,384	49,448	10,500	73,332
201502	11,928	33,922	7,784	53,634
201503	11,690	31,990	7,894	51,674
201504	9,394	22,386	3,080	34,860
201505	10,220	22,918	2,888	35,926
201506	11,606	52,052	5,236	68,894
201507	10,906	35,630	3,794	50,330
201508	12,558	55,818	5,572	73,948
201509	12,726	48,132	5,418	66,276
201510	11,242	35,630	5,824	52,696
201511	12,544	37,188	9,212	58,964
201512	10,332	35,070	8,610	54,012
201601	11,116	48,636	10,094	69,846
201602	10,038	37,898	9,072	57,008

Tabla 2 Datos de consumos

Analisis Termografico

Con la ayuda de la termografía, la cual es una herramienta basada en el estudio de la temperatura de los equipos e instalaciones de una empresa sin interrumpir su ciclo de producción. Normalmente los problemas en los equipos, se evidencian por las alteraciones en su temperatura.

Hay que tener en cuenta que para obtener un buen estudio general de la calidad del servicio eléctrico es fundamental el diagnóstico energético, es por ello que se deben verificar los problemas causados por las posibles variaciones significativas de corriente y tensión, ocasionadas por el envejecimiento de los equipos eléctricos por sobrecalentamiento en motores, tableros eléctricos, transformadores e iluminación.

Es por ello que se utilizó un registro termográfico de la subestación de la edificación, la cual se muestra en la siguiente Fig.2, la cual muestra las condiciones de operación de la misma.

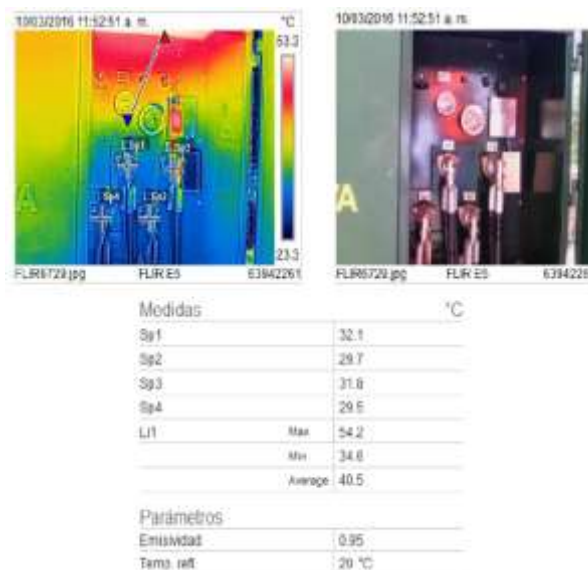


Figura 2 Termografía a Transformador de Edificio

La termografía realizada al transformador del edificio, arrojó que la temperatura del mismo está cercana a los 40°C. Estar cerca o por debajo de este nivel de temperatura asegura su buen funcionamiento y evita la degradación de éste. Además, se observó que la capacidad del transformador instalado es la suficiente para suministrar las necesidades energéticas de la institución. Se encontró un transformador en total que alimenta el edificio, con una capacidad de 300 kVA que se muestra en la Fig. 3.



Figura 3 Transformador de Pedestal de 300 kVA

También se detectó que las fases del sistema se encuentran desbalanceadas, lo cual no es benéfico para el funcionamiento óptimo del transformador.

Por último, se estima que el porcentaje de utilización para el transformador, oscila entre un 20.57%, lo cual determina que nuestra subestación no se encuentra sobrecargada.

Continuando con el estudio termográfico del edificio, se procedió a realizar el análisis a los tableros eléctricos de distribución, los cuales se muestran en la Fig. 4. Dando como resultado un desbalanceo en las líneas, por lo que se puede apreciar en las imágenes.

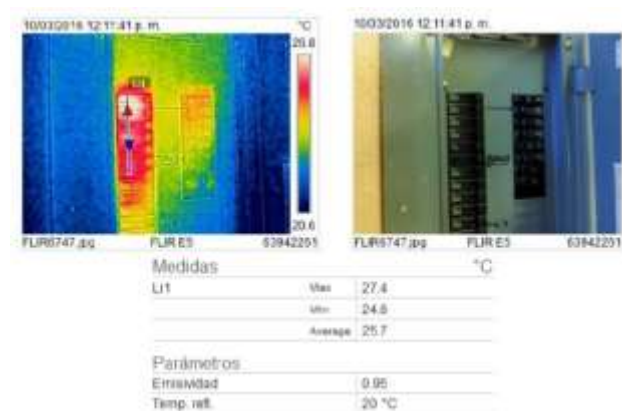


Figura 4 Termografía de Tablero de Distribucion

También se tomaron imágenes de los puntos más críticos del edificio, para poder identificar los puntos de sobrecalentamiento, y así poder hacer una evaluación del sistema de climatización y refrigeración, ayudando con esto en la eficiencia de los mismos y en el ahorro energético del inmueble. Por lo que se obtuvieron los siguientes resultados, en las Fig. 5 y 6 mostradas a continuación.

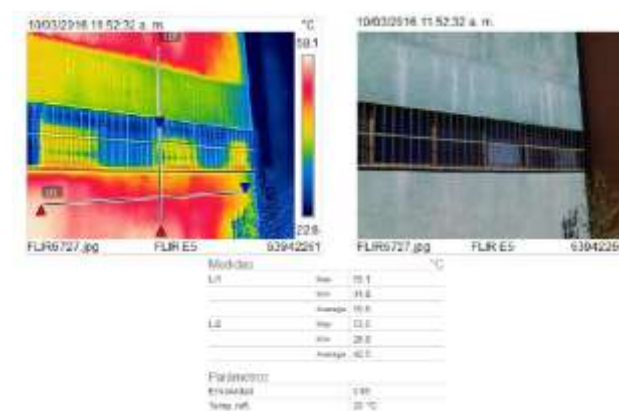


Figura 5 Termografía de Aspectos Criticos del Edificio

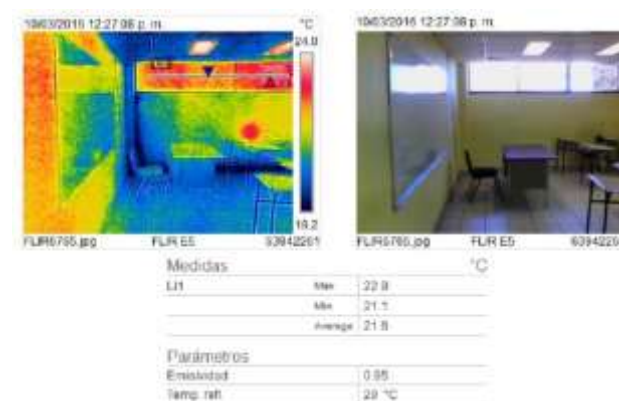


Figura 6 Termografía de Aspectos Criticos del Edificio

Resultados

Las deducciones de la investigación, muestran que después de haber aplicado el estudio termográfico y de acuerdo a las figuras mostradas anteriormente, determinamos lo siguiente:

- Transformador en estado óptimo de funcionamiento y sin sobrecarga.
- Tableros de distribución un tanto desbalanceados, por lo que será necesario realizar un próximo estudio de balanceo de carga que ayude a solucionar dicho problema.

- En cuando a las condiciones críticas del edificio, se encontró con que los parasoles del inmueble protegen solamente a los ventanales superiores, mientras que los inferiores se encuentran desprotegidos, provocando una entrada excesiva de calor ocasionado un consumo extra de energía eléctrica de las unidades de aire acondicionado.

Recomendaciones

De acuerdo al análisis realizado previamente, se determinan las recomendaciones de ahorro de energía siguiente:

- Se tiene que colocar un buen aislante térmico que ayude a los sistemas de aire a mantener una temperatura de confort dentro del local.
- Instalar sistemas de sombreado en ventanas para bloquear la introducción del calor solar al interior del edificio.
- En cuanto a la iluminación se refiere se recomienda sustituir lámparas T12 por lámparas T8 o T5 con balastro electrónico.
- En cuanto a los equipos de refrigeración se refiere, se recomienda seccionar los espacios a refrigerar y aislarlos térmicamente para tener una mejor conservación de la temperatura deseada dentro de los espacios, así como también sustituir los equipos con antigüedad de más de 10 años por unidades con tecnología Inverter.
- Instalación de variadores de velocidad en motores utilizados para sistemas de bombeo.

En la mayoría de las ocasiones en cuanto al ahorro energético, radica en poder lograr educar y crear conciencia en las personas acerca de la importancia en el cuidado de la energía.

Conclusiones

La eficiencia energética es una tendencia necesaria debido al impacto ecológico que representa el gasto innecesario de la energía, y más en especial la energía eléctrica. De esta manera con la implementación de la tecnología termográfica desarrollada en este artículo se puede contribuir para alcanzar el éxito en cuanto a la eficiencia energética de las edificaciones. Así como también permite ahorrar costes, reducir fallas y prolongar la vida útil de los equipos localizados dentro del inmueble. Sin lugar a dudas el análisis realizado resultó una opción viable y rentable para las intenciones iniciales acerca del ahorro energético del edificio.

Referencias

Cfe.gob.mx. (2016). Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. [online] Available at: http://sisproter.cfe.gob.mx/sisproter/documentos/regla_lspee.pdf [Accessed 30 Sep. 2016].

Cfe.gob.mx. (2016). Normas de distribución. [online] Available at: <http://www.cfe.gob.mx/Industria/InformacionCliente/Paginas/Normas-de-distribucion.aspx> [Accessed 30 Sep. 2016].

Dof.gob.mx. (2016). DOF - Diario Oficial de la Federación. [online] Available at: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5076393&fecha=30/12/2008 [Accessed 30 Sep. 2016].

Fide.org.mx. (2016). Consejos de Ahorro. [online] Available at: http://fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=65&Itemid=235 [Accessed 30 Sep. 2016].

Dof.gob.mx. (2016). DOF - Diario Oficial de la Federación. [online] Available at: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5163735&fecha=19/10/2010 [Accessed 30 Sep. 2016].

Sistema de Gestión de demanda eléctrica basada en la Web

Web-based Electricity Demand Management System

MORENO-DZUL, Julio†*, ALVAREZ-IBARRA, Maricela, SILVA-DZIB, Ismael y ARCEO-DIAZ, Rocío

Universidad Tecnológica de Cancún, Carretera Cancún-Aeropuerto, Km. 11.5, Mz. 5, Lt 1, SM 299, 77565 Cancún, Q.R., México

ID 1^{er} Autor: *Julio, Moreno-Dzul*

ID 1^{er} Coautor: *Maricela, Alvarez-Ibarra*

ID 2^{do} Coautor: *Ismael, Silva-Dzib*

ID 3^{er} Coautor: *Rocío, Arceo-Diaz*

DOI: 10.35429/JTO.2019.13.4.14.22

Recibido 8 de Marzo, 2020, Aceptado, 30 de Junio, 2020

Resumen

Se plantea una solución integral, innovadora y tecnológica, acerca de la predicción y gestión inteligente de la energía eléctrica, como la implementación de Redes Neuronales Artificiales (RNA) para el aprendizaje de patrones de comportamiento de la energía no lineal, la implementación de software de control inteligente que pueda ser la base de gestión de la energía a través de una interfaz de comunicación con las RNA. Igualmente, este proyecto busca a través de la implementación de técnicas computacionales vanguardistas construir un ecosistema multi-agente dotado de inteligencia artificial y conocimientos de la tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más (tarifa HM) y módulos de gestión de cargas eléctricas críticas, pero que además a través del tiempo pueda ir aprendiendo nuevos conocimientos del ecosistema eléctrico y lo pueda aplicar en una gestión mejorada de la demanda. En esta fase de pruebas se trabajó en el diseño y construcción de dispositivos de hardware de medición, control e instrumentación electrónica de bajo costo, comandados por un sistema computacional distribuido con arquitectura Web 2.0 de control y monitoreo. La aplicación Web propuesta puede analizar el valor de diferentes variables eléctricas y medioambientales, puede calendarizar arranques y paros de equipos por medio de la comunicación del sistema con un controlador electrónico.

Demanda eléctrica, Redes neuronales artificiales

Abstract

The purpose of this investigation is to propose a comprehensive, innovative and technological solution about the intelligent prediction and management of electrical energy, such as the implementation of Artificial Neural Networks (ANN) used for detecting and learning patterns of behavior of nonlinear energy, including the deployment of intelligent software used to control energy management via a communication interface with the RNA. Furthermore, through the implementation of innovative computational techniques, this project aspires to develop a multi-agent endowed with artificial intelligence and knowledge of the rate for service general medium voltage with demand or 10 kW or more and modules of managents of critical electrical loads. Additionally, over time to learn new skills related to the electrical ecosystem that can be applied in an improved demand management. In this initial test phase, we have been working on the design and construction of hardware measurement devices, as well as low-cost controls and electronic instrumentation regulated by a computer system equipped with Web 2.0 architecture. The Web application proposal can analyze the value of different electrical and environmental variables, as well as schedule equipment starts and stops through communication with an electronic controller device.

Electricity demand, Artificial neural networks

Citación: MORENO-DZUL, Julio, ALVAREZ-IBARRA, Maricela, SILVA-DZIB, Ismael y ARCEO-DIAZ, Rocío. Sistema de Gestión de demanda eléctrica basada en la Web. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-13: 14-22

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: jmoreno@utcancun.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La Secretaría de energía en México plantea la importancia de la gestión de la demanda eléctrica con base en los múltiples beneficios que traen tanto a los clientes como a los proveedores de servicios, tales beneficios como:

- Conocimiento de la estructura tarifaria del personal operativo.
- Involucramiento del personal para conocer todas las etapas del proceso.
- Crecimiento de la cultura del ahorro en la organización.
- Disminución del cargo de la demanda facturable en kW.
- Disminución del cargo por consumo kWh.
- Empresas más competitivas.
- Aumento de la vida útil de los equipos.

Por otro lado una gestión eficiente de la demanda no solo trae beneficios para los usuarios de la energía sino también a las empresas suministradoras (Lascurain, 2012), estos beneficios pueden ser:

- Reducir el requerimiento de demanda de energía eléctrica en el horario punta, generando la disminución de operación de equipos de generación de energía eléctrica basadas en combustibles no renovables en el Sistema Eléctrico Nacional.
- Disminución de pérdidas en los conductores en las redes de transmisión, y distribución.
- Aumento de la vida útil de los equipos.
- Diferir las inversiones en infraestructura.

A pesar de que existen diversos mecanismos y que los métodos y la tecnología para el control de la demanda eléctrica está en constante avance, aún sigue teniendo un costo elevado, además de que las soluciones generales o internacionales pueden presentar problemas como el desconocimiento de la tarifa HM o la diferenciación entre los conceptos y tiempos que se utilizan para el cobro de energía.

El proyecto planteado busca implementar técnicas computacionales vanguardistas para construir un ecosistema multi-agente dotado de inteligencia artificial y conocimientos de la tarifa HM.

Como se mencionó con anterioridad los sistemas de gestión de energía de última generación tienen un costo elevado de adquisición para la gran mayoría de las PyMES en México e incluso para algunas grandes empresas, y aunque la inversión realizada para adquirir estos equipos o sistemas está completamente justificada por el ahorro económico y el cuidado ambiental, existe una enorme cantidad de empresas que no consideran su adquisición debido a cuestiones financieras.

Para demostrar la disminución en costos que se piensa alcanzar se realizará la comparación de un dispositivo fundamental dentro de un sistema de gestión de demanda, como es una tarjeta de adquisición de datos.

Por ejemplo el MDS NETio de la marca General Electric empresa líder mundial en el ramo energético es un dispositivo cuyo fabricante describe como una solución inalámbrica que provee comunicación a distancia, permitiendo a los usuarios adquirir datos de diferentes sensores como por ejemplo de presión y flujo, pero que además puede fungir como elemento de control; todo esto gracias a sus puertos de entrada y salida tanto analógicos como digitales. (GE General Electric, 2016). Este dispositivo cuenta con ocho puertos, dos entradas y dos salidas digitales así como dos entradas y dos salidas analógicas.

El costo de este producto directamente adquirido con los fabricantes es de 1,323.00 dólares americanos (USD) como se puede observar en el sitio Web oficial del fabricante. Una solución similar pero basada en el SBC Beaglebone Black con la capacidad de manejar hasta 65 pines de entrada/salida digitales y 7 pines de entrada analógicos, con la solución inalámbrica es posible fabricarla con 140 USD, con la flexibilidad de poder ejecutar software creado en cualquier lenguaje de programación soportado por el Sistema Operativo GNU/Linux. (BeagleBone.org, 2016).

Al comparar los números de soluciones similares, se puede hablar de una relación de costos de uno a diez. Es importante mencionar que este proyecto no busca en una primera etapa competir de manera directa con tecnologías consolidadas en el mercado como lo son los productos de marcas como GE o Siemens.

El objetivo es proveer a la industria mexicana una alternativa de gestión inteligente de demanda más económica que la existente en el mercado, basada en componentes libres y que brinden a los desarrolladores tener disponible una plataforma base para la implementación de nuevos elementos computacionales que permitan una gestión más inteligente que conlleve a mejores resultados. La nueva Ley de la Industria Eléctrica en México permite la inclusión de entes particulares para la generación y distribución de energía eléctrica, lo que propiciará la aparición de entornos desagregados de manera parcial o total por lo cual la predicción de la demanda eléctrica se volverá fundamental, no solo para las empresas, sino para los consumidores finales, es por ello que el desarrollo de modelos computacionales de inteligencia artificial que permitan realizar una predicción de demanda a corto plazo le dan un valor agregado importante y fundamental al sistema de gestión propuesto en este proyecto.

Marco teórico

Control de demanda de energía eléctrica.

La energía eléctrica es un bien indispensable y de interés estratégico en la economía de México, es por ello que es importante, no solo tener la capacidad de producir la energía necesaria sino que es importante producir lo justo para evitar desperdicios que solo impactarían negativamente en el costo de la energía; entonces la predicción de la demanda eléctrica se vuelve fundamental para las empresas generadoras y distribuidoras, pero también para los consumidores quienes pueden ver afectados sus costos de producción de manera significativa si no tienen un cuidado adecuado de la demanda facturable, según los parámetros acordados en su contrato de servicio eléctrico. (Barrero, 2004)

La demanda eléctrica con frecuencia presenta comportamientos no lineales, por lo cual suena lógico encontrar soluciones más óptimas para el problema de predicción de la demanda eléctrica a través de modelos no lineales de entre los cuales sobresalen las técnicas basadas en Redes Neuronales Artificiales, las cuales debido a su capacidad de generalización y sobre todo, la facilidad de descubrir relaciones no lineales en entornos complejos parecieran ideales para abordar el problema de predicción de demanda. (Amjady, 2007)

En los modelos desarrollados de RNA e híbridos utilizados en gestión de demanda eléctrica se tienen los siguientes: (Villagarcía, 2008), (Alejandro, 2002)

- Modelos supervisados feedforward: Backpropagation, Perceptrón Multicapa, Red Neuronal Probabilística, Máquinas de Soporte Vectorial, Maquinas de Soporte Vectorial de Mínimos Cuadrados.
- Modelos supervisados feedback: Modelo Elman.
- Modelos no supervisados: Mapas Auto Organizados.
- Modelos Híbridos: Mapas Auto Organizados con fuzzy-rough, Modelo de Combinación Fuzzy Adaptativo, Función de Base Radial.

La principal diferencia de las técnicas no lineales frente a las lineales radica en que aquéllas no emplean tiempo en disponer de un modelo matemático claro de las dependencias de los parámetros para explicar el problema de la predicción de la demanda, en cambio, los modelos lineales requieren de la definición precisa de las ecuaciones que lo definen.

Lo que la totalidad de los modelos RNA requerirán es la adecuada parametrización de las variables de entrada al modelo, así como la definición topológica de la red (número de capas, neuronas en las mismas, funciones de entrenamiento, etc.); no obstante, esto es un trabajo sencillo y asumible (un script) si se compara con la parametrización de las funciones de los modelos lineales. No obstante, si el sistema de predicción va acumulando etapas en la predicción, con sucesivos modelos, estos modelos adicionales, supondrán un coste computacional adicional al modelo global, tanto para la fase de aprendizaje global, como para la fase de operación (predicción). (J. Wang, 2012)

Microcontroladores

Los microcontroladores están presentes en muchos de los productos electrónicos que se emplean en la vida cotidiana. Existe una gran variedad de modelos existentes en el mercado y una gran cantidad de aplicaciones posibles de funcionamiento y en las arquitecturas de muchos microcontroladores.

El microcontrolador Beaglebone es una placa de computadora de hardware libre para el desarrollo de software de OpenSource. Esta placa funciona con OMAP3530 System-on-a-chip. Fue desarrollada por un pequeño grupo de ingenieros como una placa que podría ser usada alrededor del mundo para enseñar las capacidades del software y hardware libre. La placa mide aproximadamente 75mm por 75 mm y cuenta con todas las funcionalidades de una computadora básica (S. F. Barrett, 2013), es uno de los microcontroladores más potentes y eficaces que existen en el mercado, gracias a su capacidad de manejar sistemas operativos embebidos.

El Beaglebone Black es un modelo del microcontrolador Beaglebone, esta placa al igual que los demás modelos cuenta con el OMAP3530 que incluye un CPU ARM Cortex-A8, en el cual pueden ser instalados los sistemas operativos Linux (cualquier distribución), Minix, FreeBSD, OpenBSD, RISC OS / Symbian, un DSP TMS320C64x+ para la decodificación acelerada de audio y video y una GPU PowerVR SGX530 para el renderizado en 2D y 3D. La salida de video está provista de dos conexiones separadas S-Video y HDMI. Igualmente cuenta con una entrada para tarjetas SD/MMC con soporte SDIO, un puerto USB On-The-Go, un conector serial RS-232, una conexión JTAG y dos jacks de 3.5 mm para entrada y salida de audio. El almacenamiento y la memoria interna son provistos por un chip PoP que incluye 256mb de memoria flash NAND y 256mb de RAM. Usa arriba de 2W de alimentación y puede ser alimentada por el conector USB o por una fuente externa de 5V. (McLaughlin, 2016)

Inteligencia Artificial

Una de las ramas más destacadas del campo científico de la Inteligencia Artificial es la que corresponde a las Redes Neuronales Artificiales (RNAs). Las RNAs tratan de emular el comportamiento del cerebro humano, caracterizado por el aprendizaje a través de la experiencia y la extracción de conocimiento genérico a partir de un conjunto de datos. Esto puede ser mediante la construcción física de sistemas cuya arquitectura se aproxima a la estructura de la red neuronal biológica. (R. Flórez, 2008)

Metodología

El proyecto se centra en el desarrollo de la aplicación Web 2.0 para el control y medición de la energía eléctrica y la interfaz de comunicación entre las cargas eléctricas y el sistema, que comprende el microcontrolador y las conexiones TCP. La aplicación será capaz de realizar lecturas y mediciones apoyada por el microcontrolador Beaglebone black y presentarlas mediante gráficas. Igualmente este software debe de ser capaz de aprender las tendencias del lugar donde se implemente para que en un futuro pueda decidir de manera autónoma. La aplicación tiene que almacenar todos los datos recibidos en la base de datos, para que el usuario pueda acceder a ellos cuando lo desee. De la misma manera la aplicación debe de tener la capacidad de gestionar las cargas eléctricas mediante un control de lazo cerrado y salida de potencia tipo on/off en tiempo real, visualizar parámetros eléctricos, ambientales y de proceso, generación de alertas y capacidad de administrar los propios usuarios.

Esta aplicación debe ser agradable, fácil de usar y eficaz.

Se utilizó para el desarrollo del Sistema en Tiempo Real el método llamado Hard Real-Time Hierarchical Object Oriented Design, el cual está enfocado a la construcción de los sistemas críticos, ya que de no producir una respuesta dentro de un intervalo de tiempo prefijado pueden ocasionarse graves daños en los procesos. (Wolfgang Nebel, 2003)

En HTR-HOOD se utilizó un proceso de desarrollo iterativo.

El diseño se realizó progresivamente a través de la especificación de más responsabilidades, mismas que definen las propiedades del sistema con las que opera el diseñador y que este no tiene la libertad de cambiar.

En el proceso de refinamiento del diseño, se transformaron las obligaciones (aspectos del diseño que no están sujetas a responsabilidades) y responsabilidades, a menudo se encuentra sujeto a restricciones impuestas por el entorno de ejecución, es decir el conjunto de componentes de hardware y software sobre el que se construye el sistema.

Se imponen restricciones de recursos como la velocidad del procesador, el ancho de banda de las comunicaciones y restricciones de los mecanismos como la prioridad de las interrupciones, la planificación de tareas y el bloqueo de los datos, con esto se debe proporcionar reconocimiento explícito de los tipos de actividades/objetos que se pueden encontrar y catalogar como críticos en la construcción del Sistema Inteligente de Gestión, como son:

1. Integración de los parámetros apropiados de planificación de los procesos.
2. Definición explícita de los requisitos temporales de cada objeto y aplicación.
3. Definición de la importancia relativa de cada objeto para el funcionamiento correcto de la aplicación.
4. Facilidades para realizar el análisis de la planificación del sistema.

El proceso de desarrollo iterativo constó de las siguientes etapas: definición de requisitos, diseño de la arquitectura física, diseño detallado, codificación y cálculo de tiempos de ejecución, pruebas y medida de tiempos.

El diseño de la arquitectura lógica será la fase destinada fundamentalmente a la satisfacción de los requisitos funcionales. El resultado de esta etapa será un conjunto de objetos terminales.

En cuanto a la arquitectura física, se tiene como objetivo:

1. Relacionar la arquitectura lógica con los recursos de ejecución.
2. Asignar atributos temporales a los objetos y asegurar el cumplimiento de los requisitos no funcionales.
3. Análisis de plazos de respuesta.
4. Fiabilidad y seguridad.

En el diseño de la arquitectura física se consideran principalmente cuatro actividades:

1. Asociación de los objetos resultantes de la arquitectura lógica a los recursos de hardware (procesadores) disponibles.

2. Diseño de la red, debido a que se está considerando un sistema distribuido, hay que planificar la comunicación entre los diferentes nodos (ordenadores de placa única, microcontroladores, equipo de red), de forma que el tiempo de retardo en las comunicaciones esté acotado y sea aceptable para asegurar de no causar problemas en la operación.
3. Planificación de los procesadores. Determinar la planificación, estática o dinámica que asegure que todas las tareas del sistema cumplan con los plazos establecidos.
4. Análisis de la fiabilidad: determinar si es conveniente emplear técnicas de fallos, para aumentar la fiabilidad del sistema.

El resultado del modelo físico es un sistema de objetos terminales con atributos temporales.

Aunque la arquitectura física es un refinamiento de la arquitectura lógica, el desarrollo de ambas será iterativo y concurrente.

Las pruebas del sistema de medición tanto unitario como distribuido se realizaron comparando los resultados medidos y calculados con un equipo registrador trifásico de parámetros eléctricos de voltaje, corriente, demanda, consumo, factor de potencia, frecuencia.

Las simulaciones de los modelos de red neuronal se realizaron con Matlab en diferentes escenarios, desde consumidores de tarifa HM convencionales en la red, como en entornos desagregados como pequeñas ciudades, plantas industriales o grandes hoteles.

En cuanto a la estructura lógica, o la aplicación se desarrollo bajo la metodología de desarrollo de software Extreme-Programming, que permite desarrollar la aplicación al mismo tiempo del análisis y el diseño. Igualmente permite detectar errores de cualquier fase del desarrollo y corregirlos sin la necesidad de volver a la fase. Gracias a esto se pudo ahorrar tiempo en el desarrollo y se centro en las pruebas.

Diseño del sistema

En la Figura 1 se muestra el caso de uso general, que representa los módulos de la aplicación y los accesos permitidos de cada usuario.

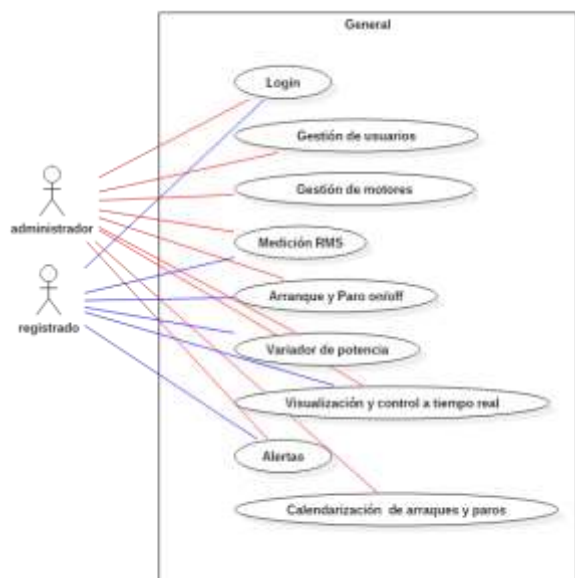


Figura 1 Caso de uso general

En la Figura 2 se muestra el diagrama de secuencia del proceso más importante de comunicación entre la aplicación Web y el microcontrolador.

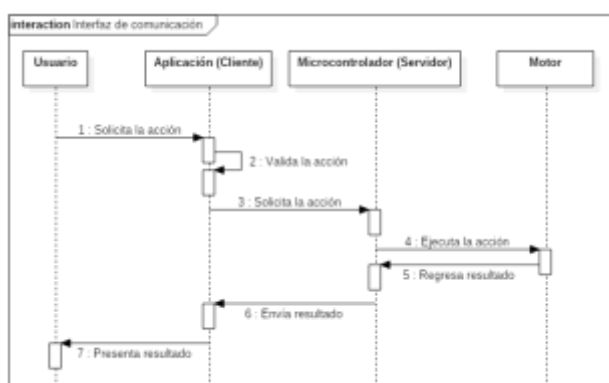


Figura 2 Interfaz de comunicación

En la Figura 3 se presenta el diagrama de secuencia del proceso de generación de alertas en el sistema.

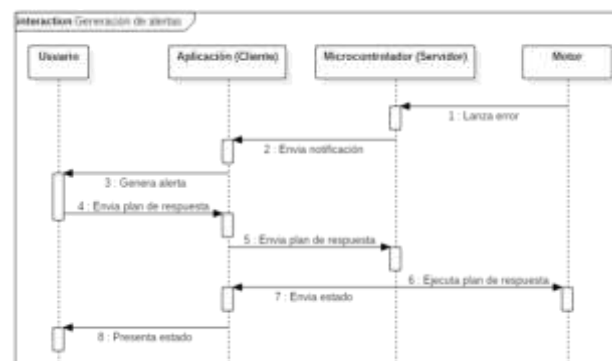


Figura 3 Generación de alertas

Codificación de la aplicación

La aplicación Web se desarrolló en su totalidad con en el entorno integrado de desarrollo (IDE) Eclipse Luna. Las interfaces gráficas fueron desarrolladas con el lenguaje de etiquetado XML y HTML. Se utilizó Javascript para efectos visuales y CSS3 para el diseño y personalización. Igualmente se utilizó para la implementación de componentes enriquecidos ZK Framework. Los procesos del sistema junto con la funcionalidad y las conexiones fueron desarrollados en el lenguaje de programación Java. Para la base de datos se utilizó el gestor MySQL y fue construida bajo un esquema de mapeo ORM (Object-Relational Mapping) con JPA y Hibernate. Esto permite mapear la base de datos directamente desde la aplicación, convirtiendo las entidades en tablas. Para la seguridad de la aplicación se utilizó Spring Security y Spring Framework. Igualmente el proyecto fue gestionado a nivel de paquetería por Maven.

Toda la aplicación fue desarrollada bajo el patrón de diseño MVC (Modelo-Vista-Controlado), esto permite un desarrollo más organizado y rápido, además de que facilita el mantenimiento y soporte de la aplicación. (Díaz González, 2012)

Construcción de la interfaz de comunicación.

La construcción de la interfaz de comunicación consistió en el desarrollo de una plataforma cliente-servidor que sea capaz de comunicar en tiempo real las cargas eléctricas con la aplicación Web. Esta interfaz se desarrolló con el microcontrolador Beaglebone Black con el sistema operativo embebido Debian Jessie. Igualmente en el microcontrolador se instaló la clase TCP Server, la cual proveía y fungía como puente de comunicación entre las cargas eléctricas y la aplicación.

Pruebas e implementación

Las pruebas estuvieron compuestas en dos partes. La primera parte fueron las pruebas de caja blanca, que se realizaron a la par de la codificación de la aplicación. Estas consistieron en ir detectando errores a la hora de compilar o ejecutar la aplicación e ir corrigiéndolos.

La segunda parte consistió en las pruebas de caja negra, en las cuales se hicieron pruebas de estrés a la aplicación para saber el número de conexiones entrantes y salientes que permite. Igualmente se hicieron pruebas de funcionamiento y conectividad para detectar posibles bugs, ya sean de seguridad o de codificación, que puedan poner en peligro la integridad de la aplicación y la interfaz de comunicación. Estas pruebas se hicieron con la ayuda y soporte de herramientas como, Junit y Selenium, las cuales nos facilitaron la detección de posibles fallos gracias a su gran eficacia.

La aplicación fue implementada en un servidor Tomcat 8. El proyecto fue exportado en un archivo war, y desde ahí se genera la ejecución de la aplicación para poder ser accedida.

Resultados obtenidos

1. Se obtuvo un análisis completo de los requerimientos, variables de entrada y salida y procesos de la aplicación con base al desarrollo de software.
2. Se obtuvo una aplicación Web 2.0 para el monitoreo y gestión de los parámetros eléctricos y medioambientales con compatibilidad de plataformas.

En la Figura 4 se muestra la pantalla de acceso a la aplicación.



Figura 4 Acceso a la aplicación

En la Figura 5 se muestra la pantalla principal de la aplicación en la cual se pueden apreciar las mediciones en tiempo real del motor seleccionado, igualmente de lado derecho se puede apreciar el módulo de arranque y paro y el variador de potencia. De lado izquierdo, en la barra lateral, se puede apreciar el botón de paro de emergencia.



Figura 5 Dashboard

En la Figura 6 se muestran las mediciones graficadas de corriente y voltajes del motor seleccionado.

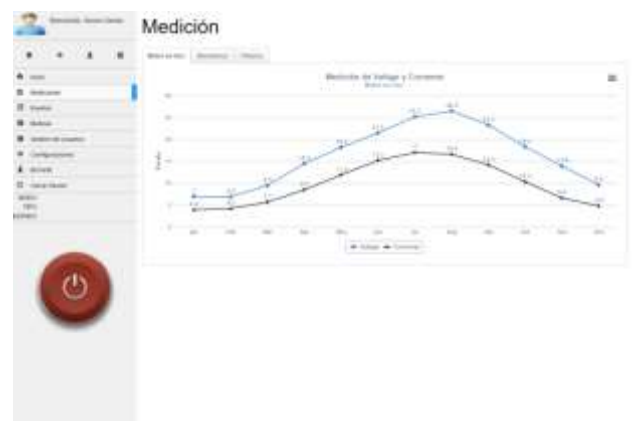


Figura 6 Medición de corriente y voltaje

En la Figura 7 se muestra las mediciones graficadas de los motores monofásicos.

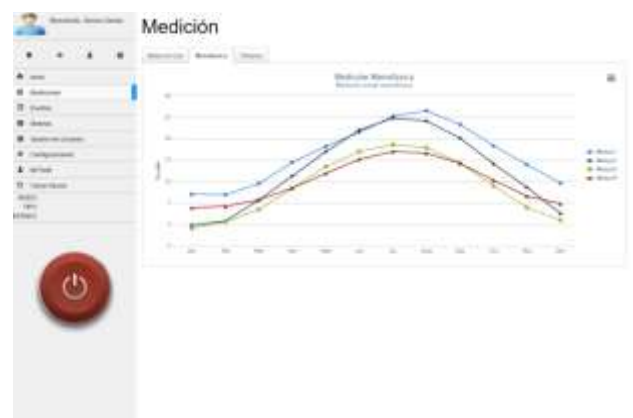


Figura 7 Medición monofásica de motores

En la Figura 8 se muestra las mediciones graficadas de los motores trifásicos.

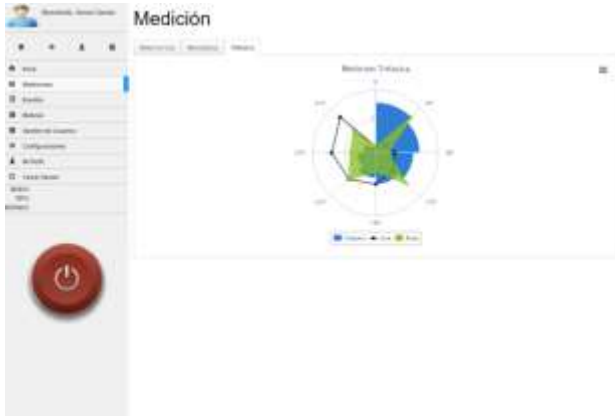


Figura 8 Medicion trifásica de motores

3. Se obtuvo una base de datos compatible con la aplicación Web para que pueda ser usada por la misma.
4. Se obtuvieron mediciones de parámetros eléctricos en tiempo real corriente RMS y Voltaje RMS para sistemas monofásicos y trifásicos de hasta 600 voltios (CAT IV) de acuerdo al estándar IEC 61010.

En las Figuras 9 y 10 se muestran los resultados de las mediciones RMS realizadas.

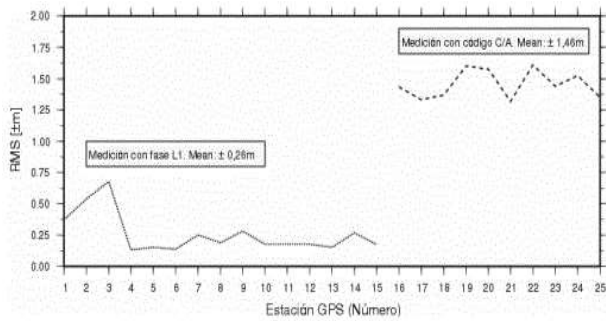


Figura 9 Medición 1

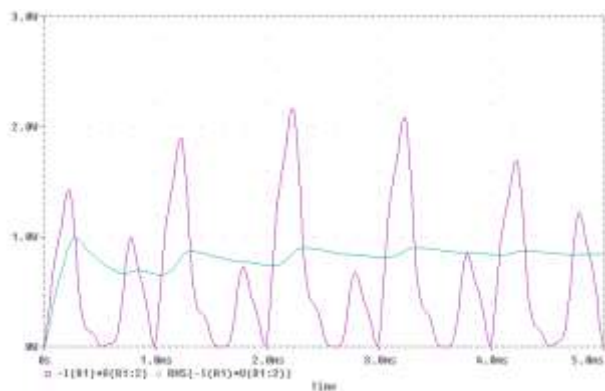


Figura 10 Medición 2

5. Se obtuvo un cálculo de potencias (activa, reactiva, aparente) y factor de potencia.
6. Se obtuvo una calendarización de arranques y paros de actuadores industriales según programa operativo (diario, mensual, anual) mediante la aplicación Web.

En la Figura 11 se muestra la calendarización de arranques y eventos de motores.

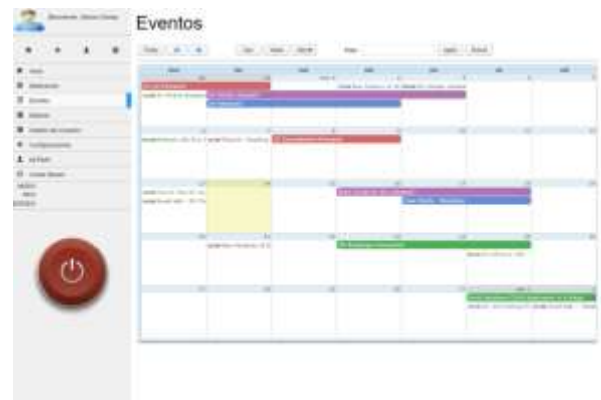


Figura 11 Calendarización de arranques y eventos

7. Se obtuvo una generación de alertas en tiempo real según mediciones o funcionamientos anómalos de los equipos en la red.
8. Se obtuvo una gestión autónoma de arranques y paros según las predicciones realizadas.
9. Se obtuvo la interfaz de comunicación entre los motores y la aplicación con el Beaglebone Black.

En la Figura 12 se muestran las pruebas de la construcción de la interfaz de comunicación en una protoboard.

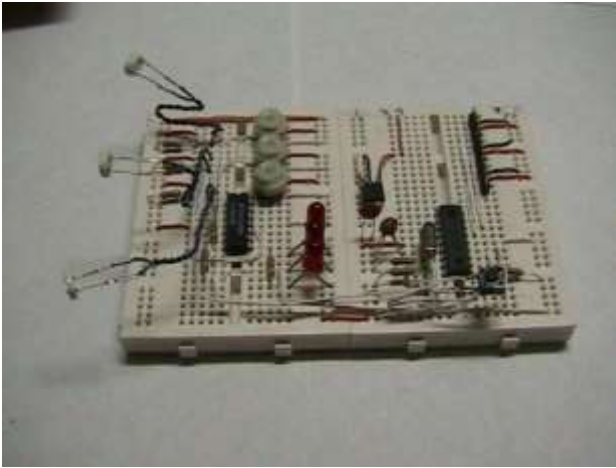


Figura 12 Prueba en protoboard

En la Figura 13 se muestran las pruebas de la interfaz de comunicación con el Beaglebone Black.

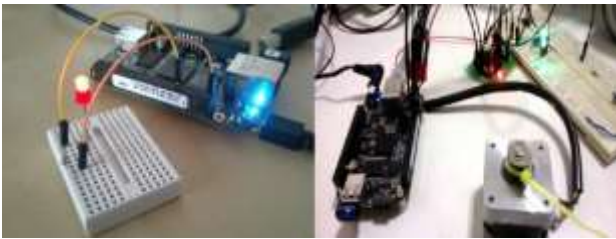


Figura 13 Pruebas con Beaglebone Black

Conclusiones

Con el desarrollo de la aplicación Web se puede gestionar y monitorear de manera inteligente el uso de energía, también por medio del aprendizaje de patrones se puede calcular la demanda de energía eléctrica.

Se logró la construcción de la interfaz de comunicación con un Beaglebone Black funcionando como servidor en un modelo TCP cliente/servidor. También se logró el análisis, diseño y desarrollo de la aplicación Web, con los requerimientos estipulados. Igualmente se lograron pruebas satisfactorias reales con motores trifásicos y monofásicos.

El prototipo está en fase de pruebas y adecuaciones para su implementación, sin embargo falta más trabajo de investigación y análisis de los patrones del comportamiento no lineales de la energía eléctrica, diseño y adecuación del modelo de predicciones, así como pruebas con Beaglebone Black.

Posteriormente se debe realizar la adecuación con cargas eléctricas variadas para que se pueda liberar el prototipo, además de incluir nuevas funciones en la aplicación Web para que sea comercializable.

Referencias

Alejandro, J. C. (2002). *Análisis de sistemas de energía eléctrica*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Ovideo.

Amjady, N. (2007). *Short-Term Bus Load Forecasting of Power Systems by a New Hybrid Method*. IEEE Transactions on Power Systems.

Barrero, F. (2004). *Sistemas de energía eléctrica*. Madrid: International Thomson Editores Spain Paraninfo, S. A.

BeagleBone.org. (09 de 2016). *beagleboard*. Recuperado el 1 de 10 de 2016, de <https://beagleboard.org/black>

Díaz González, F. R. (2012). Patrón Modelo-Vista-Controlador. *Revista Telemática*, 11 (1). GE General Electric. (2016). *gegridsolutions*. Recuperado el 27 de 04 de 2016, de <http://www.gegridsolutions.com/Communications/catalog/netio.htm>

Lascurain, G. I. (07 de 05 de 2012). <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015599/015599.pdf>. Recuperado el 25 de 04 de 2016, de <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015599/015599.pdf>: h

McLaughlin, B. (2016). *The BeagleBone Black Primer*. Que Publishing.

R. Flórez, J. M. (2008). *Las redes neuronales artificiales. Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas*. Netbiblio, S. L.

Wolfgang Nebel, F. O.-R. (26 de 05 de 2003). *Object-Oriented Specification and Design of Embedded Hard Real-Time Systems*. Recuperado el 14 de 05 de 2016, de http://www.offis.de/uploads/tx_useroffis/icda-49-fromproceedings.pdf:

Villagarcía, C. (2008). *Atlas de la demanda eléctrica Española*. Red Eléctrica de España.

Diseño de un convertidor de potencia eléctrico para obtener menos pérdidas de energía

Design of an electric power converter to obtain less energy losses

AUSTRIA, León†*, NORIEGA, Raymundo, CANALES, Benito y RUIZ, Luis

ID 1^{er} Autor: *León, Austria*

ID 1^{er} Coautor: *Raymundo, Noriega*

ID 2^{do} Coautor: *Benito, Canales*

ID 3^{er} Coautor: *Luis, Ruiz*

DOI: 10.35429/JTO.2020.13.4.23.29

Recibido 10 de Marzo, 2020, Aceptado, 30 de Junio, 2020

Resumen

En este escrito se propone y se hace conciencia sobre la importancia en el diseño eficaz de la topología del convertidor como la selección de la mejor frecuencia de conmutación y el cálculo de pérdidas de potencia de los componentes electrónicos que se propongan para elevar la eficiencia del mismo, con lo cual se convertirá en mayor autonomía para el vehículo eléctrico producto de la reducción del peso y el tamaño del modulo de potencia que alimentará a sistema de tracción. Se da una introducción al estado del arte y marco teórico en la primera parte sobre las investigaciones encaminadas a vehículos eléctricos. En el desarrollo se describen las mejores topologías para convertidores de potencia, aspectos importantes para la selección de la mejor frecuencia de conmutación y por último como calcular las pérdidas de potencia para los componentes electrónicos y proponer los adecuados para un sistema conmutación de potencia en particular.

Cálculo, Conmutación, Convertidor, Diseño

Abstract

In this paper is proposed and is awareness of the importance in the effective design of the topology of the converter as the selection of the best switching frequency and the calculation of power loss of electronic components that they intend to raise the efficiency of it, whereupon it will become greater autonomy for electric vehicle product of the reduction of the weight and size of the module of power that will feed system of traction. An introduction is given to the State of the art and theoretical framework in the first part on research on electric vehicles. Development describes the best topologies for power converters, important aspects for the selection of the best switching frequency and finally calculate the losses of power for electronic components and propose the suitable for a system power switching in particular.

Calculation, Switching, Converter, Design

Citación: AUSTRIA, León, NORIEGA, Raymundo, CANALES, Benito y RUIZ, Luis. Diseño de un convertidor de potencia eléctrico para obtener menos pérdidas de energía. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-13: 23-29

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: león_austria@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La investigación sobre vehículos eléctricos (VE) va creciendo a nivel mundial y se debe en gran medida a razones de ahorro de combustibles fósiles y la reducción de la contaminación ambiental producidas por los vehículos de combustión interna. Los orígenes de la tracción eléctrica se remontan a mediados del siglo XIX donde los desarrollos de los vehículos de combustión interna iban a la par de los eléctricos (AUSTRIA, 2008). La investigación encaminada a VE se desarrolló lentamente a partir de 1930, ya que no se encontró solución satisfactoria en ese momento al problema de almacenamiento de corriente eléctrica que recae sobre los acumuladores eléctricos, estos primeros poseían una baja capacidad de energía y un nivel bajo de autonomía aceptable (AUSTRIA, 2015).

Sin embargo durante el siglo XX hubo grandes avances en la electrónica de potencia, hacia finales de la década de 1940, se transformó la industria electrónica con la introducción del transistor, después mejorado en 1948 por la invención del transistor de silicio y posteriormente en 1956 el transistor de disparo PNP o tiristor (NASHELSKY, 1997). Luego a comienzos de los años 80 se inventan los transistores de potencia y los GTO, creándose así los primeros inversores que eran capaces de alimentar los grandes motores de inducción desde una fuente de corriente continua. El siguiente paso importante fue la invención de los IGBT y los motores de imanes permanentes contribuyendo al desarrollo de los sistemas de tracción de los vehículos eléctricos (NASHELSKY, 1997). Al final de la década de los 90 aparecieron vehículos eléctricos pequeños de una a dos plazas, hechos de fibra de vidrio, termoplásticos o materiales compuestos de más o menos 2.5 metros de longitud y con peso de 290 – 600kg.

Con una demanda de energía entre 9 y 20kwh/100km. Desarrollando una velocidad máxima entre 50 y 90km/h, y tenían un alcance entre 30 y 90km dependiendo del patrón de manejo (AUSTRIA, 2015). Actualmente los vehículos eléctricos son grandes de dos plazas con planta de potencia de 185kW, con una transmisión eléctrica manual de 2 velocidades, y recorren distancias hasta 400km antes de una recarga de sus acumuladores como el coche eléctrico TESLA (AUSTRIA, 2008).

Hoy en día algunos países como Japón tienen severas restricciones de gasolina y tienen preocupación por la contaminación ambiental por lo cual buscan alternativas. La alternativa de la energía eléctrica como fuente primaria de energía tanto para los VE como para la industria, se ha hecho muy interesante. En países desarrollados como Alemania y EUA se han creado organismos y centros de investigación sobre VE, baterías y centros de carga. Además se ha tomado, principalmente en los países desarrollados, una actitud de fomento al uso de energías renovables y no contaminantes (AUSTRIA, 2008).

Los vehículos eléctricos obtienen su capacidad de movimiento por la energía eléctrica liberada por las baterías, estas deberán de tener una mayor energía específica, esta energía es la cantidad de watts-hora de electricidad que la batería ofrece por kilogramo de masa para cierta tasa de descarga específica. El sistema de generación y acumulación de la energía eléctrica constituye el sistema básico para mover un vehículo eléctrico. Los vehículos eléctricos tienen un problema en este sentido ya que existen baterías pesadas y de poca energía específica que hacen baja su autonomía.

La autonomía de las baterías de plomo no es comparable con la de un tanque de gasolina ya que llenar un tanque de combustible tarda solo unos pocos minutos, mientras que la recarga eléctrica tarda horas. Si a esto le sumamos el ciclo de vida útil de la batería y su costo, se tiene un serio problema en el diseño de un VE y su aceptación en el mercado. Los sistemas de recarga de los VE pueden ser recargando la batería del mismo vehículo o con el reemplazo de las baterías descargadas. Ambos sistemas tienen desventajas y todavía no está claro cuál es el más práctico. Los motores eléctricos presentan ventajas con respecto al motor de combustión interna como es: un amplio rango de par-motor a baja velocidad, ahorro de energía y transmisiones más ligeras y eficientes. Abordando sobre el tema del ahorro de energía se encuentra una ventaja importante de los motores eléctricos ya que el 46% de la energía liberada por las baterías sirve para mover el vehículo, lo que indica una eficiencia entre 10-30% superior del vehículo convencional con motor de combustión interna donde se tiene que el 18% de la energía del combustible es utilizada para mover el vehículo, el resto sirve para accionar el motor (AUSTRIA, 2015).

Los vehículos eléctricos tienen ventaja por su baja emisión de contaminantes con respecto de los de combustión interna, lo que significa menos ozono en la atmósfera, claro que esta ventaja dependerá de cómo se genere la energía eléctrica y del grado al cual las emisiones sean controladas en el centro de carga que es una planta generadora de electricidad necesaria para recargar los acumuladores eléctricos (AUSTRIA, 2015).

Después de un pasado como actor secundario, el VE se alza como gran favorito para ocupar el trono de vehículo urbano. Las grandes marcas apuestan por él, ya sea en forma de vehículo eléctrico puro o híbrido, destinando grandes cantidades de dinero a su investigación y presentando prototipos con una prestaciones que cada vez se acercan más a su claro competidor.

Parece que la razón que nos impulsó a abandonar el VE es la misma que ahora nos lleva aceleradamente a él: el petróleo. A grandes rasgos, la sociedad empieza a darse cuenta de la necesidad de no depender de un recurso finito. Los pronósticos no son favorables a corto plazo y el mejor de los casos es peor de lo esperado. Cambio climático, calentamiento global, contaminación ambiental, recursos limitados... sin duda todos estos conceptos están íntimamente ligados a los vehículos de combustión. Con unas normativas sobre emisiones cada vez más restrictivas, los ingenieros se enfrentan a retos tecnológicos *a priori* inalcanzables (AUSTRIA, 2015).

Para poder diseñar e implementar el equipo electrónico eficiente (convertidor de potencia) que controle los flujos de corriente eléctrica en el vehículo eléctrico, es importante definir una topología de potencia adecuada para la aplicación y deba ser capaz de transferir energía desde y hacia las baterías en todo momento, a una potencia máxima cercana a la del motor, para así poder entregar (o recibir) en ciertos momentos toda la potencia desde el sistema. Muchos de estos convertidores de potencia para VE en aplicaciones industriales, es preciso el convertir un voltaje fijo de una fuente de DC a un voltaje variable también en DC. El convertidor, cambia de forma directa una magnitud fija a otra DC variable.

El equivalente al convertidor en AC es el transformador. Un convertidor, de la misma manera que lo hace un transformador, se puede utilizar tanto como fuente de DC reductora como elevadora (AUSTRIA, 2015).

Desarrollo

Un convertidor conmutado o convertidor de potencia modo conmutado es un sistema electrónico de potencia, que convierte un nivel de energía eléctrica de entrada en otro nivel a la salida de la carga, por acción de la conmutación de los elementos electrónicos. El convertidor conmutado de CD/CD mostrado en la Fig.1, utiliza semiconductores como dispositivos de control de la conmutación para la transferencia de potencia en forma dinámica, en una fuente de alimentación de corriente directa como entrada conectándola y desconectándola a la carga por algún periodo de tiempo predeterminado. La aplicación para VE de este convertidor conmutado es de regulador elevador de voltaje controlado para alimentación del inversor del motor. En comparación de los convertidores lineales de voltaje, o reguladores lineales de voltaje, las fuentes de poder conmutadas tienen una alta eficiencia en energía y una potencia alta.



Figura 1 Diagrama a bloques del convertidor de potencia de CD/CD

La selección de la topología del convertidor. El convertidor conmutado consiste en un número de elementos eléctricos pasivos y de interruptores electrónicos para el almacenaje de energía que estén conectados en una topología tales que las acciones periódicas de la conmutación de los interruptores controlan la transferencia dinámica de la energía de la entrada a la salida para producir una conversión deseada del CD en la salida. Los elementos del almacenaje (inductor y condensador), tienen que ser conectados generalmente de una manera tal que formen un filtro pasa bajos para entregar un voltaje de baja frecuencia a la salida. Las dos topologías fundamentales de convertidores son el convertidor del *buck* (reductor) y el convertidor del *boost* (elevador).

La mayor parte de las otras topologías derivadas del *buck* o de las del *boost* son equivalentes en cuestión topológica al del *buck* o al convertidor *Boost* (AUSTRIA, 2015). Los convertidores *interleaved* son el resultado de la conexión en paralelo de convertidores conmutados. Estos usualmente tienen algún tipo de filtro en la salida. Los convertidores *interleaved* tienen grandes ventajas sobre los convertidores simples de potencia; una baja corriente de rizo en la entrada y baja capacitancia de salida (capacitor pequeño).

Rápida respuesta al transistor al cambio de carga (carga dinámica). Y proporciona capacidad grande de potencia y elevando a 90% la eficiencia de potencia (AUSTRIA, 2008). Un convertidor *interleaved* puede ser realizado por un manejador de fase de salida de señales de control en cada convertidor en paralelo, resultando en un incremento efectivo en esta frecuencia de conmutación (AUSTRIA, 2015). Esto es usado en aplicaciones donde las cargas demandan un rizo pequeño de la corriente de entrada (ver figura 2).

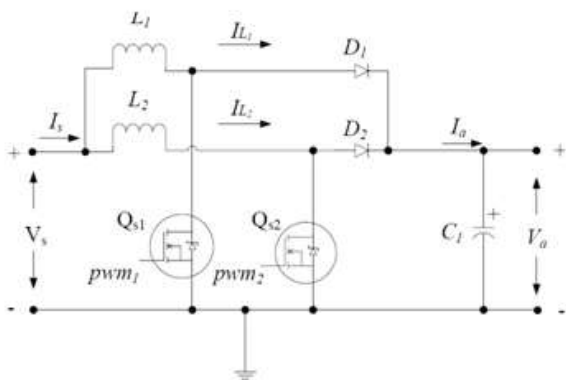


Figura 2 Diagrama eléctrico del convertidor boost interleaved de 2 celdas

El voltaje de entrada V_s es común en ambas celdas, como el capacitor de salida. Las señales moduladas por ancho de pulso (*PWM*) son pwm_1 y pwm_2 , las cuales son desfasadas 180° una con respecto a otra ($2\pi/n$), donde n es el número de convertidores en paralelo, en este caso de $n=2$. La corriente de entrada tiene un rizo pequeño y es igual a la suma de las corrientes de los inductores, $I_{L1} + I_{L2}$ y están desfasadas 180° (AUSTRIA, 2015).

Estas características en combinación con la corriente de entrada continua lo hace ideal para aplicaciones en fuentes para PC, compensadores de factor de potencia y convertidores para vehículos eléctricos (AUSTRIA, 2015). La operación de este convertidor puede ser dividido en cuatro modos, dependiendo de la acción de conmutación de los transistores (ver figura 3).

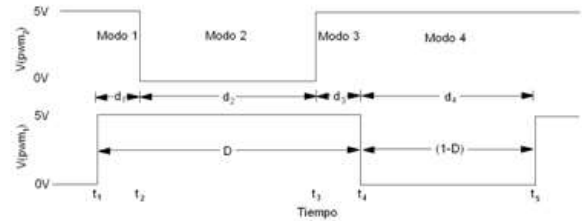


Figura 3 Pulsos modulados en ancho del ciclo útil pwm_1 y pwm_2 del convertidor

Metodología

Para calcular la corriente del rizo de entrada (ver figura 4) se necesita saber calcular el incremento de ΔI_{L1} y la corriente mínima del rizo I_{L1-min} de cada una de las celdas (ambas son iguales), a continuación se muestra en la ecuación 1 el cálculo del incremento del rizo de corriente en cada celda (AUSTRIA, 2015).

$$\Delta I_L = \Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} = \frac{V_s D}{f_{sw} L_1} = \frac{V_s D}{f_{sw} L_2} \tag{1}$$

Donde:

ΔI_L ; Incremento del rizo de corriente en cada celda (Amperios).

f_{sw} ; Es la frecuencia de conmutación del convertidor (Hertz).

V_s ; Es el voltaje de alimentación (Voltios).

D ; Porcentaje del ciclo de trabajo (Porcentaje %).

$L_{1 y 2}$; Valores de las inductancias (Henrys).

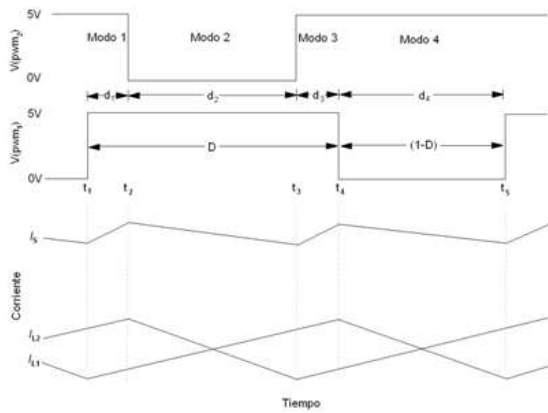


Figura 4 Señales del rizo de corriente de entrada y los rizados de corriente en cada inductor

La corriente mínima del rizo de entrada I_{s-min} cuando los inductores son iguales ($L_1 = L_2$) es igual a:

$$I_{s-min} = \left(\frac{\Delta I_L}{\Delta I} \right) 0.5 + 2I_{L-min} \quad \Delta I_r \begin{cases} D \leq 0.5 & \Delta I_r = 1 - D \\ D > 0.5 & \Delta I_r = D \end{cases} \quad (2)$$

Donde I_{L-min} es corriente mínima de cada celda.

La corriente máxima del rizo de entrada cuando los inductores son iguales ($L_1=L_2$) es igual a,

$$I_{s-max} = \left(\frac{\Delta I_L}{\Delta I} \right) |D - 0.5| + I_{L-max} + I_{L-min} \quad \Delta I_r \begin{cases} D \leq 0.5 & \Delta I_r = 1 - D \\ D > 0.5 & \Delta I_r = D \end{cases} \quad (3)$$

Donde I_{L-max} es corriente máxima de cada celda. Al obtener la diferencia entre I_{s-max} y I_{s-min} se encuentra que ΔI_s ,

$$\Delta I_s = I_{s-max} - I_{s-min} \quad (4)$$

La selección de la frecuencia de conmutación. Otro aspecto muy importante es encontrar la mejor frecuencia de conmutación para el convertidor propuesto que reúna las siguientes cualidades:

- Valor del capacitor e inductor pequeño ya que esto se convierte en menor tamaño del componente ahorrando espacio, peso y costo (ver Figura 5).
- Menores pérdidas de potencia que se convierte en un disipador pequeño ahorrando peso y tamaño (ver Figura 6).

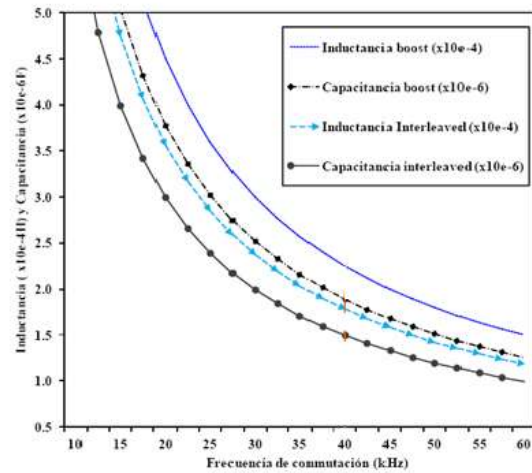


Figura 5 Frecuencia vs. Inductancia y capacitancia del convertidor

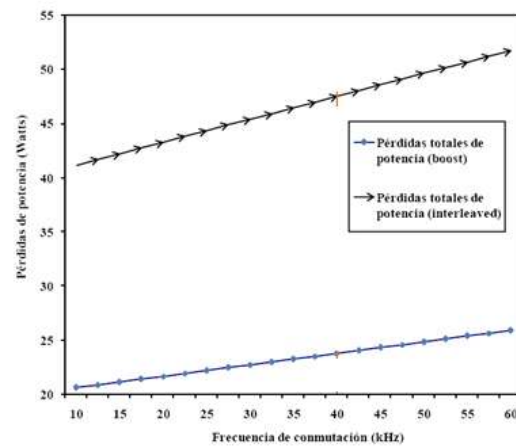


Figura 6 Pérdidas de potencia del convertidor contra la frecuencia de conmutación

La selección de los transistores y diodos que componen la etapa de potencia del convertidor pueden ser calculados a partir del voltaje de entrada, voltaje de salida, potencia de salida, amplitud máxima del rizo corriente de entrada, amplitud máxima del rizo voltaje de salida y la frecuencia de conmutación. Esta selección es muy importante para garantizar que la pérdida de potencia sea la mínima producto por el calentamiento de los dispositivos debido a la acción de conmutación y el manejo de las corrientes de rama.

El ciclo útil de la señal de control puede ser calculado a partir del voltaje de entrada y salida.

$$D = \frac{V_a - V_s}{V_a} \quad (5)$$

Donde V_a es el voltaje de salida y V_s es el voltaje de entrada. La corriente de entrada puede ser calculada a partir de la potencia de entrada.

$$I_s = \frac{P_s}{V_s} = \frac{I_a}{(1-D)} \quad (6)$$

Donde P_s es la potencia de entrada. La resistencia de carga se puede calcular como sigue:

$$R = \frac{V_a^2}{P_a} \quad (7)$$

Donde P_a es la potencia de salida.

Con los resultados anteriores podemos seleccionar los interruptores de potencia, ya que deben cumplir con los requerimientos del sistema. Es importante realizar una comparación de pérdidas de potencia entre diversos componentes electrónicos y así obtener transistores que tengan las menores pérdidas totales debido por la acción de la conducción y la conmutación del sistema de conversión. Con la ecuación 8 se puede calcular:

$$P_{transistor} = P_C + P_{sw} \quad (8)$$

Con la ecuación 9 podemos encontrar la P_C :

$$P_C = P_Q + P_D \quad (9)$$

P_Q = Pérdidas por conducción.

P_D = Pérdidas de conducción del diodo interno del transistor.

Para encontrar P_Q se calcula como el promedio de la potencia instantánea:

$$P_Q = \frac{1}{T} \int_0^{DT} p(t) dt \quad (10)$$

Donde $P(t)$ es la potencia instantánea $P(t) = i^2(t) R_{DS(on)}$.

Y para encontrar las pérdidas por conmutación del transistor P_{sw} se pueden calcular con la ecuación 11.

$$P_{sw} = (E_{on} + E_{off}) f_{sw} \quad (11)$$

Donde E_{on} y E_{off} son las energías pérdidas en cada tiempo y f_{sw} es la frecuencia de conmutación.

Las pérdidas por conmutación son causadas por la superposición de las formas de onda de la corriente y el voltaje en el transistor durante los instantes de incremento y decremento de estas dos señales, como lo muestra la figura 7. Durante los intervalos de encendido t_{on} y apagado t_{off} la pérdida de energía está dada por:

$$E_{on} = \frac{V_a I_a}{2} t_{on} \quad (12)$$

$$E_{off} = \frac{V_a I_a}{2} t_{off} \quad (13)$$

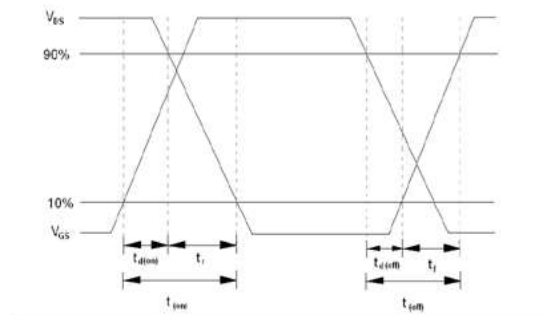


Figura 7 Tiempo contra voltaje de compuerta del mosfet del convertidor

Los tiempos de conmutación los obtenemos de las hojas técnicas de los dispositivos proporcionados por el fabricante. Para encontrar las pérdidas totales en el diodo se necesita calcular la pérdida por recuperación inversa (P_{rr}) y la pérdida por conducción (P_D) y sumarlas. Con la ecuación 14 se puede calcular las pérdidas por recuperación inversa (AUSTRIA, 2015).

$$P_{rr} = f_{sw} (V_a I_a t_{cr} + V_a Q_{rr}) R_{DS(on)} \quad (14)$$

Donde,

f_{sw} es la frecuencia de conmutación.

$R_{DS(on)}$ es la resistencia entre sus terminales en estado de conducción del diodo.

V_a es el voltaje de salida.

I_a es la corriente de carga.

t_{cr} es el tiempo de carga.

Q_{rr} es la máxima carga de recuperación inversa.

Resultados

Con base a las recomendaciones que se dieron en el desarrollo; se propuso el diseño de un convertidor elevador de potencia con celdas en paralelo (boost interleaved) como una de las mejores estrategias para ser implementarlo en un VE. Los cálculos se comprobaron en el programa PSIM (software de simulación numérica de circuitos electrónicos de potencia). En la figura 8, se muestra el ejemplo del convertidor boost interleaved propuesto.

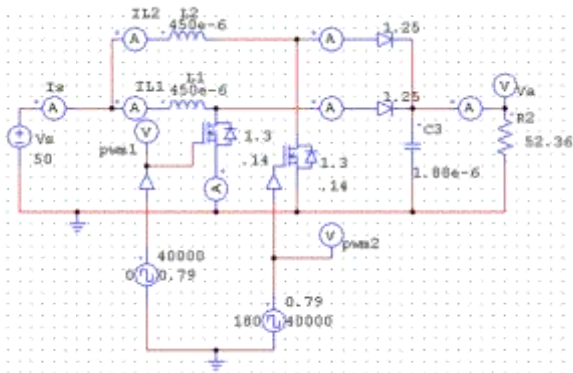


Figura 8 Simulación en PSIM de un convertidor boost interleaved propuesto

En la figura 9, muestra las señales de voltaje que entrega el programa de simulación donde se puede observar el valor del voltaje de entrada y salida con un sobre impulso y un rizo. Esta respuesta se tomo a una frecuencia de conmutación de 40kHz y un valor de ciclo útil de trabajo de 0.79 propuestos.

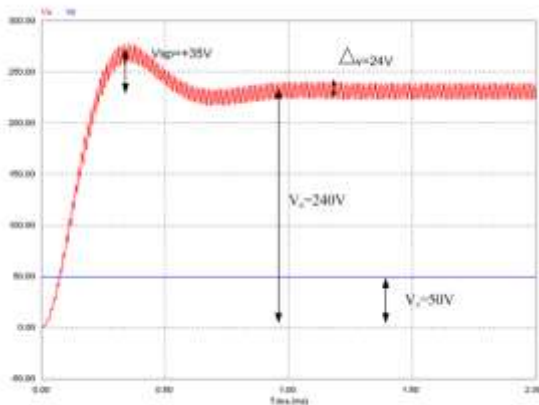


Figura 9 Voltaje de salida y entrada contra tiempo

Conclusiones

La selección de la mejor una topología del convertidor, frecuencia de conmutación y componentes electrónicos reducirán las pérdidas de potencia del sistema de conversión y elevarán la eficiencia del mismo, lo cual se convertirá en mayor autonomía para el vehículo eléctrico reduciendo el peso y tamaño del módulo de potencia que alimentará a sistema de tracción. Por tal motivo, es importante hacer conciencia de que un diseño eficaz con un estudio y cálculo preciso de los componentes para poder transferir la mayoría de potencia de los acumuladores a los motores del sistema de tracción del vehículo y optimizar el manejo de energía.

Referencias

AUSTRIA L, MURO B, (2008). Diseño y control de un convertidor paralelo de potencia. IPN México.

AUSTRIA L, NORIEGA R, CANALES B. (2015). Investigaciones, estrategias y medios en la práctica educativa, Importancia del diseño eficaz del convertidor de potencia eléctrico en el ahorro de energía y autonomía de un vehículo eléctrico. Cenid. México. ISBN: 978-607-8435-03-6.

NASHELSKY L. (1997). Electrónica: Teoría de Circuitos. Prentice Hall.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Operaciones Tecnológicas. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

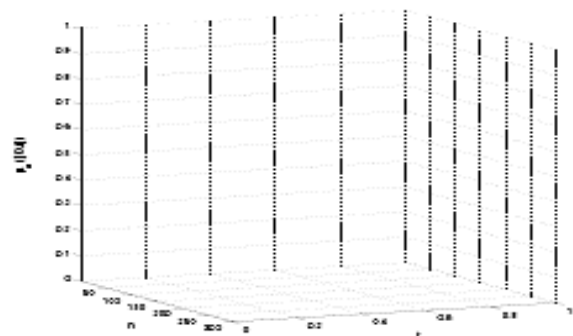


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

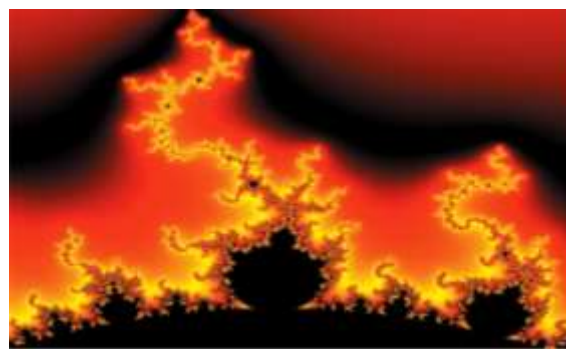


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

Revista de Operaciones Tecnológicas se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Operaciones Tecnológicas emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Operaciones Tecnológicas, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Taiwan), sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán

Revista de Operaciones Tecnológicas

"Control por calculado para seguimiento de trayectoria aplicado a la dinámica de un robot de 3gdl con propósitos didácticos"

HERNÁNDEZ-DURÓN, Juan Carlos, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha and OLIVARES-CABALLERO, Daniel

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

"Análisis termográfico y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio de docencia #1"

MAYORQUIN-ROBLES, Jesús, MEDINA-MUÑOZ, Luis, RODRIGUEZ-SENDAY, José y VILLALVAZO-LAUREANO, Efrain

"Sistema de Gestión de demanda eléctrica basada en la Web"

MORENO-DZUL, Julio, ALVAREZ-IBARRA, Maricela, SILVA-DZIB, Ismael y ARCEO-DIAZ, Rocío

Universidad Tecnológica de Cancún

"Diseño de un convertidor de potencia eléctrico para obtener menos pérdidas de energía"

AUSTRIA, León, NORIEGA, Raymundo, CANALES, Benito y RUIZ, Luis

