

ISSN 2410-3993

Volumen 3, Número 7 — Abril — Junio 2016

Revista de Tecnología e Innovación

ECORFAN®

Indización



ECORFAN-Bolivia

Latindex

Research Gate

Hispana

Universia

Google Scholar

REBID

Mendeley

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Regional

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC

Director de la Revista

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD

Diseñador de Edición

TREJO-RAMOS, Ivan. BsC

Revista de Tecnología e Innovación, Volumen 3, Número 7, de Abril - Junio 2016, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD. ISSN-2410-3993. 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 2016.

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 del Derecho de Autor.

Consejo Editorial

GALICIA-PALACIOS, Alexander. PhD
Instituto Politécnico Nacional-México

NAVARRO-FRÓMENTA, Enrique. PhD
Química Azizbekow-Rusia

BARDEY, David. PhD
University of Besançon-Francia

COBOS-CAMPOS, Amalia, PhD
Universidad de Salamanca-España

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco, PhD
University José Matías Delgado-El Salvador

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe, PhD
Universidad de Concepción, Chile-Chile

BELTRÁN-MIRANDA, Claudia, PhD
Universidad Industrial de Santander Colombia-Colombia

Consejo Arbitral

RRS, MsC

Universidad de Londres-México

ZM, MsC

Universidad de Londres-México

BCL, MsC

Universidad Autónoma de Yucatán-México

CCN, MsC

Universidad Autónoma de Yucatán-México

TSJ, PhD

Universidad de la Habana-Cuba

VGJ, PhD

Universidad de Granada-España

OGE, PhD

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica-México

QME, PhD

El Colegio de México-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Tecnología e Innovación

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

En el primer número es presentado el *Desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación de miembros superiores* por LÓPEZ-CAMACHO, Fabián, SERNA-HERNÁNDEZ, Luis y OLGUÍN-CAMACHO, Juan, como siguiente artículo está *Laboratorio Virtual “Si I-StubMatch” para el Diseño de Acopladores de Impedancias usando Brazos Reactancia* por PORRAGAS, Luis, MARÍN, Luis, VÁZQUEZ, Alejandro y PORTILLO, Rogelio, en el siguiente artículo está *Control de impedancia basado en un modelo de toma de decisión* por PORTILLO-VÉLEZ, Rogelio, MARÍN-URÍAS, Luis, VÁZQUEZ-SANTACRUZ, J y PORRAGAS-BELTRÁN, Luis, como siguiente artículo está *Análisis comparativo de dos instalaciones fotovoltaicas de 3kWp con Fronius IG PLUS vs SMA Sunny Boy de la U.T.B.B* por PAREDES, César, DIBENE, Luis y FLETES, Noé, como siguiente artículo está *Diseño de Circuitos Computacionales en Células Vivas usando Biología Sintética* por MONDRAGÓN-LOZANO, Francisco, RAMÍREZ-CAMACHO, Jessica, VÁZQUEZ-HUERTA, María Elena y GONZALEZ-GUTIERREZ, Fidel, como siguiente artículo está *Hidrólisis ácida de citrus sinensis para la obtención de azúcares fermentables* por MEJÍA-TREJO, Ana, BRAVO-LUGO, Jaqueline, VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan como siguiente artículo está *Automatización en la deposición de películas delgadas de nanomateriales para la posible utilización en celdas solares* por REYNOSO-SOTO, Edgar, ALONSO-PÉREZ, Jorge, TRUJILLO-NAVARRETE, Balter y CAZAREZ-CASTRO, Nohé, como siguiente artículo está *Desarrollo sustentable y los diferentes métodos de transporte de energía eléctrica* por BAUTISTA-VARGAS, María, BARRON-TORRES, José, GARCÍA-MARTÍNEZ, Arnulfo y HERNÁNDEZ-FLORES, José, con adscripción en la Universidad Politécnica de Altamira como siguiente artículo está *Instrumento virtual para diagnosticar y corregir desbalance de maquinaria rotativa* por SILVA-JUÁREZ, Alejandro, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús, PONCE-MELLADO, Juan y HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo, como siguiente artículo está *Proceso de diseño de una pieza de un horno de leña para autoconstrucción* por GAYTÁN, Alfredo, CEBALLOS, Javier, LUGO, Eloina y VILLARREAL, Marco, como siguiente artículo está *Manipulación de un brazo robótico mediante señales electroencefalográficas* por ESQUEDA-ELIZONDO, J, HERNÁNDEZ-MANZO, D, BERMUDEZ-ENCARNACIÓN, E, JIMÉNEZ-BERISTAÍN, L y PINTO-RAMOS, M, como siguiente artículo está *Análisis y propuesta de sistema de secado solar para Junco en la comunidad Kumiai en San José de las Zorras B. C* por CARMONA, Karla, JUÁREZ, Marco, BALDERAS, Silvia y TEÓN, Argelia, como siguiente artículo está *Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+* por CHÁVEZ-SAENZ, Velia, TORRES-RAMÍREZ, Dulce, HERRERA-OGAZ, José y HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Audiel.

Contenido

Artículo	Página
Desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación de miembros superiores LÓPEZ-CAMACHO, Fabián, SERNA-HERNÁNDEZ, Luis y OLGUÍN-CAMACHO, Juan	1-12
Laboratorio Virtual “Si 1-StubMatch” para el Diseño de Acopladores de Impedancias usando Brazos Reactancia PORRAGAS, Luis, MARÍN, Luis, VÁZQUEZ, Alejandro y PORTILLO, Rogelio	13-21
Control de impedancia basado en un modelo de toma de decisión PORTILLO-VÉLEZ, Rogelio, MARÍN-URÍAS, Luis, VÁZQUEZ-SANTACRUZ, J y PORRAGAS-BELTRÁN, Luis	22-30
Análisis comparativo de dos instalaciones fotovoltaicas de 3kWp con Fronius IG PLUS vs SMA Sunny Boy de la U.T.B.B PAREDES, César, DIBENE, Luis y FLETES, Noé	31-37
Diseño de Circuitos Computacionales en Células Vivas usando Biología Sintética MONDRAGÓN-LOZANO, Francisco, RAMÍREZ-CAMACHO, Jessica, VÁZQUEZ-HUERTA, María Elena y GONZALEZ-GUTIERREZ, Fidel	38-45
Hidrólisis ácida de <i>citrus sinensis</i> para la obtención de azúcares fermentables MEJÍA-TREJO, Ana, BRAVO-LUGO, Jaqueline, VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji	46-50
Automatización en la deposición de películas delgadas de nanomateriales para la posible utilización en celdas solares REYNOSO-SOTO, Edgar, ALONSO-PÉREZ, Jorge, TRUJILLO-NAVARRETE, Balter y CAZAREZ-CASTRO, Nohé	51-59
Desarrollo sustentable y los diferentes métodos de transporte de energía eléctrica BAUTISTA-VARGAS, María, BARRON-TORRES, José, GARCÍA-MARTÍNEZ, Arnulfo y HERNÁNDEZ-FLORES, José	60-72
Instrumento virtual para diagnosticar y corregir desbalance de maquinaria rotativa SILVA-JUÁREZ, Alejandro, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús, PONCE-MELLADO, Juan y HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo	73-81
Proceso de diseño de una pieza de un horno de leña para autoconstrucción GAYTÁN, Alfredo, CEBALLOS, Javier, LUGO, Eloina y VILLARREAL, Marco	82-88

Manipulación de un brazo robótico mediante señales electroencefalográficas	
ESQUEDA-ELIZONDO, J, HERNÁNDEZ-MANZO, D, BERMUDEZ-ENCARNACIÓN, E, JIMÉNEZ-BERISTAÍN, L y PINTO-RAMOS, M	89-98
Análisis y propuesta de sistema de secado solar para Junco en la comunidad Kumiai en San José de las Zorras B. C	99-106
CARMONA, Karla, JUÁREZ, Marco, BALDERAS, Silvia y TEÓN, Argelia	
Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+	107-118
CHÁVEZ-SAENZ, Velia, TORRES-RAMÍREZ, Dulce, HERRERA-OGAZ, José y HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Audiel	

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación de miembros superiores

LÓPEZ-CAMACHO, Fabián*†, SERNA-HERNÁNDEZ, Luis y OLGUÍN-CAMACHO, Juan.

Recibido Abril 22, 2016; Aceptado Junio 15, 2016

Resumen

Actualmente la robótica se presenta como una de las áreas con mayor impacto en la vida diaria, por su exactitud y nivel de control se han logrado desarrollos importantes en la medicina a partir de la robótica y en específico la rehabilitación, en donde los exoesqueletos se muestran como una de las mejores alternativas por armonizar con el comportamiento del cuerpo humano. El presente trabajo reporta el diseño y construcción de un dispositivo exoesquelético de dimensiones variables, aplicado en la asistencia para rehabilitación de hombro y codo, el cuál fue desarrollado a partir de los movimientos principales de estos, obteniendo así una cadena cinemática abierta de cinco grados de libertad. Para la delimitación de las dimensiones del exoesqueleto se tomaron en cuenta las características antropométricas de la población mexicana, las cuales fueron implementadas en un sistema CAD-CAM-CAE, obteniendo como resultado un modelo tridimensional, al que se le aplicó un estudio de esfuerzos y se determinó el espacio de trabajo para cada articulación, realizándose una comparativa contra los movimientos articulares del hombro y codo mediante la implementación física del exoesqueleto, se observó que la configuración propuesta es compatible con los movimientos presente en los miembros superior del cuerpo humano.

Diseño, Cadena Cinemática, Antropometría, sistemas CAD-CAM-CAE

Abstract

Nowadays robotics is presented as one of the sciences with largest impact in daily life. Because of its accuracy and controlling level several important developments have been achieved in medicine thanks to robotics specifically in rehabilitation where exoeskeletons are presented as one of the best alternatives to replace some human body function. This work reports the design and construction of an exoeskeleton with variable dimensions, it is applied in assistance for shoulder and elbow rehabilitation considering their main movements. It was obtained a five degrees of freedom open kinematic chain. To determine the dimension of the exoeskeleton it was taken into account the anthropomorphic characteristics of Mexican population which were implemented in a CAD-CAM-CAE system, as a result it was obtained a tridimensional model and an effort test was applied to it. The working space was determined for each of the joints. The prototype was compared to the shoulder and elbow movements. It was verified that the proposed design is compatible with the movements of the human upper body.

Design, kinematic chain, anthropometry, CAD-CAM-CAE systems

Citación: LÓPEZ-CAMACHO, Fabián, SERNA-HERNÁNDEZ, Luis y OLGUÍN-CAMACHO, Juan. Desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación de miembros superiores. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 1-12

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jolguin@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

El desarrollo de exoesqueletos con fines de rehabilitación se ha convertido en una actividad de interés, puesto que la combinación con la antropometría del ser humano conlleva beneficios en el mejoramiento de sus capacidades mediante un acoplamiento entre la persona y un dispositivo exoesquelético, permitiendo así transmitir potencia mecánica al usuario en la corrección de movimientos.

Ayala, et al [1] reportan el diseño de un exoesqueleto de miembros superiores enfocado a la rehabilitación, en el cual realizaron los cálculos del diseño estructural del brazo, antebrazo y hombro, estos componentes fueron diseñados con longitudes variables en un rango definido con la finalidad de ajustarse a un grupo de usuarios, obteniendo con ello un exoesqueleto que integró movimientos de flexo-extensión sagital, abducción frontal y flexo-extensión horizontal; Gutiérrez, et al [2] presentan el diseño e implementación de una estructura que sujeta el brazo del usuario. Se analizó la resistencia que puede ejercer el paciente al hacer un movimiento con el apoyo de un grupo de fisioterapeutas, de las cuales se realizó el análisis de las diferentes rutinas realizadas en cada terapia y se determinó que la velocidad máxima para el giro de los tres grados de libertad; Badesa, et al [3] presentan un sistema robótico dual para la rehabilitación de miembros superiores mediante el método Kabat, el diseño se basó en el concepto de generar una cadena cinemática cerrada entre el brazo del usuario y el exoesqueleto, buscando guiar el codo del usuario, del cual reportan la simulación de graficas de movimiento desarrollado por la cadena cinemática de cuatro grados de libertad; Lugo, et al [4] presentan el diseño de un exoesqueleto de extremidades inferiores el cual se desarrolló en tres áreas: biomecánica, diseño mecánico y sistema de control.

A partir de estas, se simularon los movimientos de una marcha completa atendiendo las restricciones cinemáticas de un usuario específico. El exoesqueleto constó de 3 grados de libertad por pierna y un grado más de movimiento de rotación de la cadera; Tibaduiza, et al [5] reportan el desarrollo de un exoesqueleto de brazo, mediante simulación. El diseño de este consistió en un análisis de la biomecánica, antropometría humana y de los mecanismos de actuación. El modelo biomecánico se realizó atendiendo a los parámetros de Hanavan, en seis segmentos acoplados; Narvaez, et al [6] desarrollaron un exoesqueleto para la rehabilitación de mano en una persona que presenta daño por eventos cerebro-vasculares. El sistema consistió en una base que recubre la mano por el dorso sirviendo de plataforma para cada uno de los dedos, contando con diez grados de libertad, cinco para sujeción y cinco para proporcionar flexibilidad a los movimientos; Rincon, Amar y Torres [7] implementaron un prototipo de rehabilitación para extremidades superiores, atendiendo a la flexión del brazo buscando brindar al usuario estabilidad, fuerza y movimiento en el proceso de rehabilitación, el diseño consistió en un dos etapas: el moldeado en yeso de las extremidades de un sujeto de estudio y el posterior vaciado en acrílico, con lo cual generaron un sistema de dos grados de libertad para la flexión del hombro y codo; Aguirre [8] presenta el diseño y construcción de un exoesqueleto controlado con señales mioeléctricas. La estructura fue diseñada en simulación 3D realizado en Autodesk Inventor® y construida en acrílico, el resultado del diseño fue un exoesqueleto de dos grados de libertad, ubicados en las articulaciones del brazo y codo; Singaña, et al [9] reporta un exoesqueleto enfocado a la rehabilitación de los movimientos del hombro.

El diseño estructural se realizó en Solidworks® y ANSYS® buscando acoplar la cinemática del cuerpo y la del dispositivo desarrollado, obteniendo un sistema de seis grados de libertad.

De los trabajos anteriores se observa la necesidad de acotar las dimensiones del exoesqueleto enfocándose a las de un grupo de estudio, además de la necesidad de la generación de estructuras que se ajusten al movimiento del cuerpo. El presente trabajo reporta el desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación de miembros superiores, tomando en cuenta la antropometría de la población mexicana.

Desarrollo

En el presente trabajo se desarrolló un exoesqueleto para la rehabilitación de miembros superiores, teniendo en cuenta la antropometría de la población mexicana tratada en [10], así como la biomecánica involucrada en los movimientos de abducción-aducción, flexión-extensión y pronación-supinación [11], para el hombro y flexión-extensión y pronación-supinación para el codo [12]. Para ello se generó un modelo tridimensional en el software Solidworks® [13] 2016, al cual se le implementó un estudio por elemento finito en el ensamble sometido a movimientos de rotación en sus articulaciones. Posteriormente se generaron los códigos G, necesarios para su fabricación, mediante una implementación directa en un sistema CAM para un controlador FANUC 0i-MB. Al realizar la simulación de los movimientos de brazo y codo se determinaron los espacios de trabajo de cada articulación basados en lo reportado por [11,12], lo cual fue comparado con la implementación directa del exoesqueleto y su medición por medio de un transductor rotacional.

Antropometría

Atendiendo a las necesidades de la población mexicana, se determinó la implementación de un exoesqueleto que abarcara a la población que comprende las edades de 19 a 24 años. Lo anterior basado en lo reportado por [11,12,14], en donde se observan una mayor incidencia en accidentes que implican rehabilitación de brazo y codo, así como las longitudes estándar de estos. En la Tabla 1 se muestran las dimensiones de las extremidades superiores en este grupo de estudio.

Dimensiones	19 a 24 años n=(97)				
	Porcentiles (mm)				
	X	D.E	5	50	94
Alcance brazo frontal	682	39	618	679	746
Alcance brazo lateral	784	36	725	782	843

Tabla 1 Longitudes de miembros superiores de la población mexicana, tomado de [10].

De las magnitudes de la Tabla 1 se propuso tomar en cuenta una desviación del 5% con la finalidad de ampliar la cobertura de servicio del exoesqueleto.

Biomecánica

Para dar una mayor funcionalidad al exoesqueleto se determinaron los grados de libertad del hombro los cuales son una combinación de pares cinemáticos rotacionales. Atendiendo a lo reportado por [11,12], se determinaron los siguientes movimientos: i) abducción-aducción, ii) flexión-extensión, iii) pronación-supinación.

Para el hombro se tiene que el movimiento de abducción-aducción que presenta un rango de trabajo de 0° a 180° [11], que consta de un movimiento rotacional en el plano frontal Figura 1a.

El movimiento articular de flexión-extensión tiene un rango de operación de 0° a 180° para la flexión y de 0° a 40° para la extensión los cuales se desarrollan mediante rotaciones en el plano sagital como se puede observar en la figura 1b. El movimiento de pronación-supinación, mostrado en la Figura 1c, se da en el plano transversal y consta de dos fases: la primera consta del movimiento de pronación que tiene un rango de trabajo de 0° a 80° y la segunda corresponde al movimiento de supinación que tiene un margen de 0° a 110° .

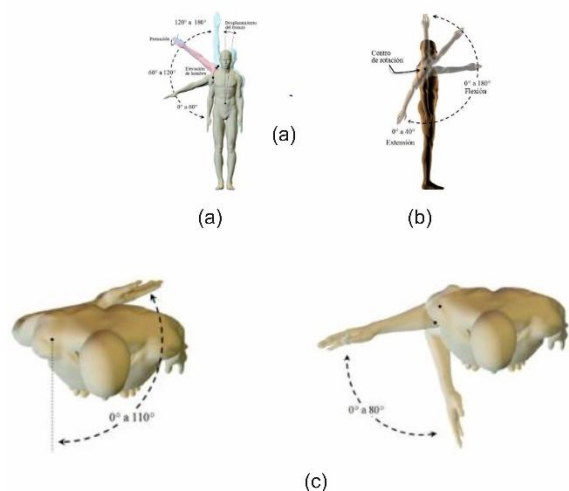


Figura 1 Movimientos articulares del hombro: (a) abducción-aducción, (b) flexión-extensión y (c) pronación-supinación, tomado de [11].

Para el codo se observan los movimientos de flexión-extensión mostrados en la figura 2, que consiste en un movimiento rotacional en el plano sagital, que marca un espacio de trabajo de 0° a 140° para la flexión y de 0° a -145° para la extensión [12].

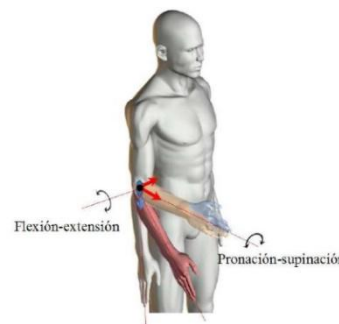


Figura 2 Movimientos articulares del codo: flexión-extensión y pronación-supinación, tomado de [12].

La pronación-supinación del codo, se realiza en el plano transversal, en donde la pronación presenta un rango de trabajo de 0° a 90° y la supinación de 0° a 85° como se observa en la Figura 2.

Cabe mencionar que los planos de trabajo son mostrados en la figura 3. Los cuales dan referencia a los movimientos articulares previamente descritos.

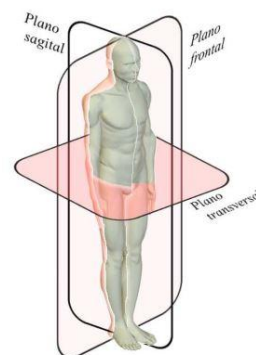


Figura 3 Planos de trabajo del cuerpo humano tomados como referencia para los movimientos articulares, tomada de [12].

Atendiendo a la Figura 3, se dispusieron los mismos planos en el modelo 3D del exoesqueleto.

Modelo tridimensional

Atendiendo al estudio biomecánico del apartado anterior se dispuso la geometría mostrada en la Figura 4. La cual tiene cinco grados de libertad que son enumerados de forma ascendente a lo largo de la cadena cinemática abierta propuesta para el presente trabajo.

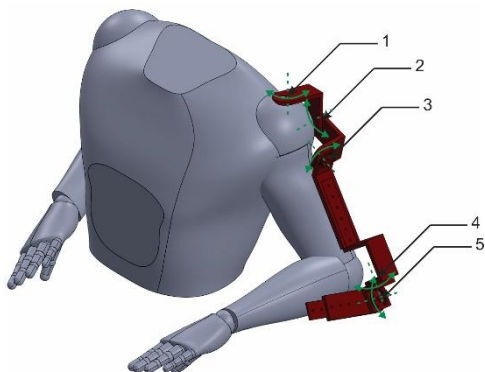


Figura 4 Configuración del exoesqueleto.

Para los movimientos articulares del hombro se plantearon los siguientes grados de libertad para su ejecución: para abducción-aducción el grado de libertad 2; para flexión-extensión los grados 2 y 3; mientras que para la pronación-supinación se utilizó una combinación de los grados 1, 2 y 3.

Para los movimientos articulares del codo, se formularon los siguientes grados de libertad: en la flexión-extensión el grado 5; mientras que para la pronación-supinación el grado 4.

Por otra parte es apreciable la cantidad de eslabones del exoesqueleto los cuales fueron formulados atendiendo a las características antropométricas de la población de estudio. En la Figura 5 se presenta una vista explosionada que muestra los eslabones de la cadena cinemática desarrollada.

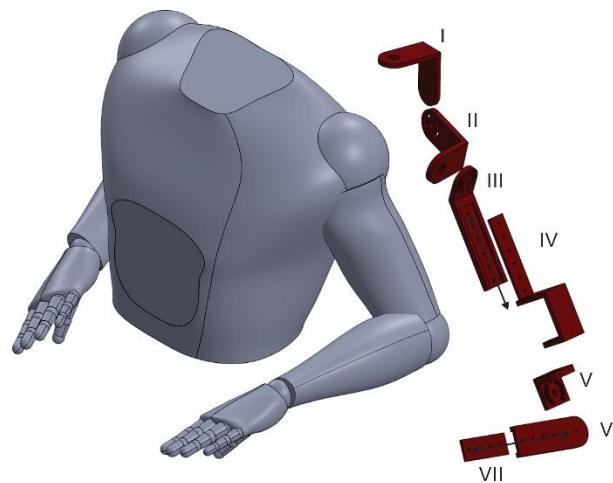


Figura 5 Eslabones del exoesqueleto.

Es apreciable que los eslabones I y II están basados en las dimensiones del hombro de la población estudiada; mientras que los eslabones III y IV están referenciados con el brazo, es posible apreciar que entre estos dos elementos existe un ensamble configurable en función de las longitudes posibles dentro del grupo de estudio, además se observa una concavidad en el eslabón IV el cual está pensado para la inclusión de un servomotor, cabe mencionar que su ubicación fue determinada para evitar que dicho motor interfiriera con la cinemática del movimiento del miembro superior; los eslabones V, VI y VII se relacionan con las dimensiones del antebrazo, en donde el eslabón V funciona como un acoplamiento entre el brazo y antebrazo, mientras que los electos VI y VII tienen una relación de ensamble equivalente a la de los eslabones III y IV.

Simulación

Asumiendo el promedio estático del exoesqueleto se realizó un análisis de elemento finito en el Software Solidworks® 2016 [13] de cada movimiento articular del miembro superior, seleccionando un material de aluminio de aleación 1060.

De igual forma se determinaron condiciones de frontera en el exoesqueleto proponiendo una geometría fija en el eslabón I, y teniendo en cuenta unas fuerzas distribuidas de 64.74N de acuerdo a lo reportado en [15] que es aplicada a lo largo de las secciones de estudio, en función a la dinámica del cuerpo.

Atendiendo las consideraciones tratadas en las secciones anteriores, se realizó la simulación por elemento finito en las posiciones finales de los movimientos articulares.

Abducción-aducción del hombro. Se consideran las posiciones finales de los dos movimientos, los cuales se observan en las Figuras 6a y 6c, es observable que el movimiento de aducción es consistente con el estado de reposo del cuerpo.

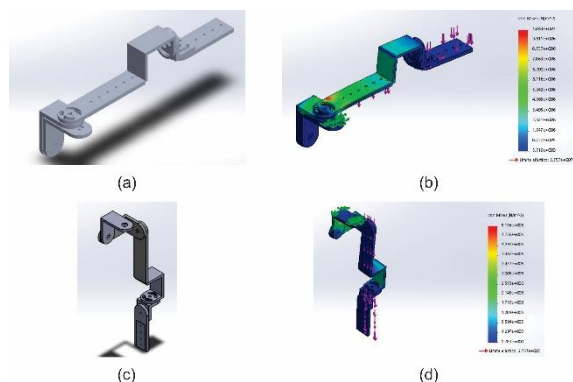


Figura 6 Simulación de elemento finito de los movimientos de abducción-aducción del hombro.

Al realizar la simulación de elemento finito se observa que los puntos de mayor esfuerzo se encuentran en las uniones proximas al cuerpo, como se muestra en las Figuras 6b y 6d, para la abducción se localizó en el eslabón III con un valor de 10.48 MPa y para el movimiento de aducción se encontró en el eslabón I con un esfuerzo de 5.156 MPa.

Flexión-extensión del hombro. Estudiando las posiciones finales de estos movimientos articulares se determinaron las configuraciones mostradas en las Figuras 7a y 7c correspondientes a la flexión y extensión respectivamente.

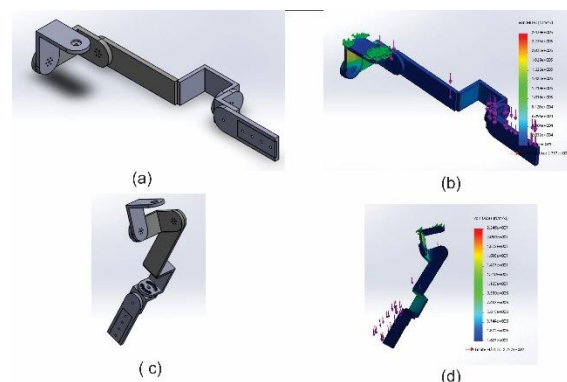


Figura 7 Simulación de elemento finito de los movimientos de flexión y extensión del hombro.

De las simulaciones por elemento finito de las presentes configuraciones se observó que el elemento con mayor esfuerzo fue el eslabón I, con valores de 0.2439 MPa y 22.46 MPa, para la 3 y extensión respectivamente.

Pronación-supinación del hombro. Observando los ángulos finales de los presente movimientos articulares se realizaron las configuraciones mostradas en las Figuras 8a y 8c, donde se muestra como referencia el plano frontal para identificar la configuración de pronación y supinación con respecto a este eje.

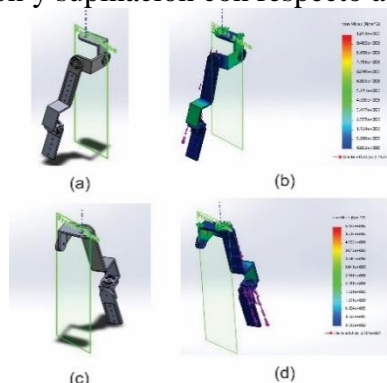


Figura 8 Simulación de elemento finito de los movimientos de pronación-supinación del hombro.

De las Figuras 8b y 8d, se determinan zonas de concentración de esfuerzos en los eslabones I, II y IV, donde el mayor esfuerzo esta localizado en el eslabon I, con valores de 10.34 MPa y 6.162 MPa para la pronación y supinación respectivamente.

Flexión-extensión del codo. La configuración para el movimiento de flexión del codo se muestra en la Figura 9, esta consistio en la rotación del eslabón VI respecto al V. Al estudiar la dinamica de la extensión del codo es apreciable en la Figura 2, que este coincide con la posición de reposo de cuerpo y al mismo tiempo con la posición de extensión del hombro, por lo cual los resultados de la simulación son iguales para los tres casos citados, y son mostrados en las Figuras 6c y 6d.

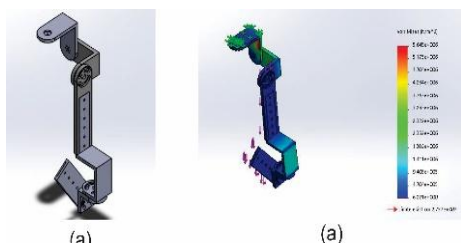


Figura 9 Simulación de elemento finito del movimiento flexión del codo.

Del analisis de elemento finito se determina que el mayor esfuerzo es de 5.645 Mpa se ubica en el eslabón I.

Pronación-supinación del codo. Atendiendo a las características de la pronación y supinación del codo descritas previamente se determinarán las posiciones mostradas en las Figuras 10a y 10c, en donde es apreciable que los movimientos esta dados en espejo.

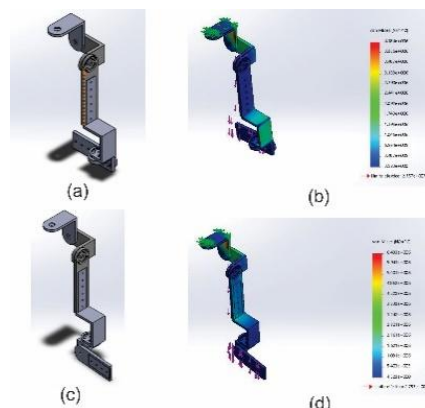


Figura 10 Simulación de elemento finito de los movimientos de pronación-supinación del codo.

Al realizar la simulación por elemento finito se determina que en los dos casos el elemento con mayor esfuerzo es el eslabon I, con valores de 4.184 MPa y 6.483MPa para la pronación y supinación respectivamente.

Espacio de trabajo

Conociendo las configuraciones del exoesqueleto desarrollado, se realizó la simulación en Matlab® [16] 2012 de los movimientos de: abducción, flexión, extensión, pronación y supinación para el hombro y flexión, extensión, pronación y supinación para el codo. Los cuales se compararon con los datos adquiridos de la implementación física de cada movimiento articular mediante un encoder incremental con una exactitud de 1024 cuantas por revolución.

En la Figura 11 se muestran las simulaciones del espacio de trabajo correspondientes a los movimientos articulares.

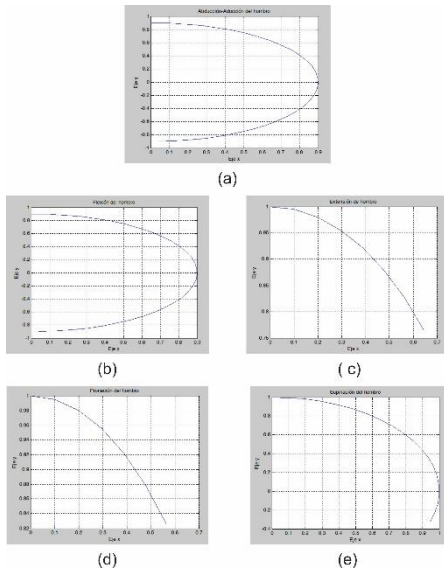


Figura 11 Simulación espacios de trabajo para movimientos articulares del hombro.

Las Figuras 11a,11b, 11c, 11d y 11e muestran el espacio de trabajo del movimiento de abducción- aducción, flexion-extension supinacion-pronacion del hombro, con rangos angulares de 0° a 180° para abduccion en el caso de aduccion no se muestra su figura para el espacio de trabajo ya que su rango angular es de 0°, de 0° a 180° para la flexión y de 0° a 40° para la extensión, en el caso del movimiento de pronación va de los 0° a 80° y supinación de rango angular de 0° a 110° respectivamente. De igual manera en la Figura 12 se muestran las simulaciones para los movimientos articulares del codo (flexión, extensión, pronación y supinación respectivamente), con angulos de trabajo de 0° a 140° para la flexion y de 0° para la extensión. Asi el movimiento articular de la pronación tiene un rango angular de 0° a 90° y la supinación de 0° a 85°

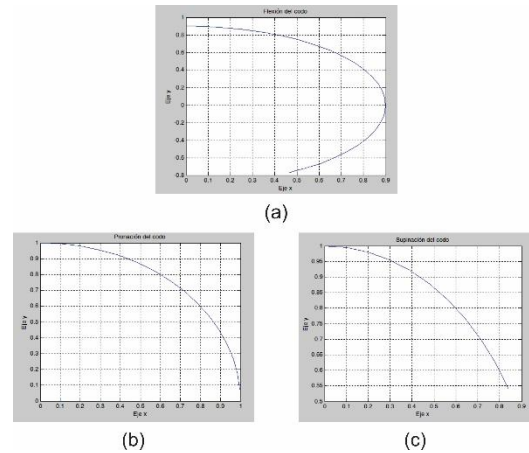


Figura 12 Simulación espacios de trabajo para movimientos articulares el codo.

Al realizar la adquisicion del sistema fisico, se obtienen las trayectorias mostradas en la figura 13b.

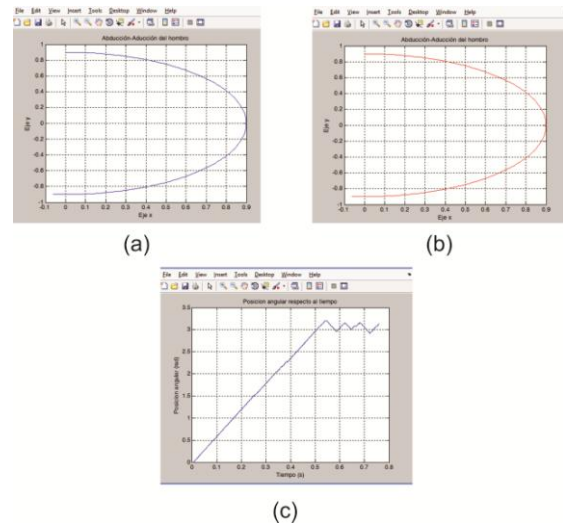


Figura 13 Espacios de trabajo para movimientos articulares del hombro y codo del sistema fisico.

Al comparar las figuras 13a y 13b se observa que las trayectorias son compatibles con una desviación menor al 10%, la cual es debida al ruido del sistema y las imperfecciones al ejecutar los movimientos de prueba, estas graficas se realizaron con base al movimiento de abduccion- aduccion del hombro que tiene un movimiento de 180°, así se compara el espacio de trabajo como la adquisición de datos que se realizó al utilizar un encoder incremental para hacer la comparación de las gráficas obtenidas en el espacio de trabajo del movimiento del hombro (abducción-aducción) y así graficar la posición angular con respecto al tiempo de los datos obtenidos como se muestra en la Figura 13c, cabe observar que el comportamiento de esta gráfica es similar a la una excitación rampa, puesto que el movimiento de prueba fue progresivo a lo largo de la trayectoria.

Sistema CAM

Utilizando las características del modelo 3D, se realizó la implementación de un sistema CAM haciendo uso de programa VISI SERIES RELEASE 12.1® [17], para el cual se generó un proceso de maquinado intermedio tipo denominado rowing spiral que consistió en un proceso de desbaste y acabado, mediante una trayectoria circular de avance constante en el eje z, el uso de esta estrategia de corte se debió a que los eslabones del sistema 3D son una proyección bidimensional, lo que genera ciclos de corte definidos. Dichos códigos realizados en el programa VISI SERIES ® son compatibles con el CNC FANUC 0i-MB, sin embargo para mejorar el rendimiento de la maquina y reducir el tiempo de procesamiento del trabajo de maquinado se trataron los códigos generados por el programa antes mencionado, y se implementaron en un proceso ciclico haciendo el uso de macros, mediante el esquema de programación mostrado en la Tabla 2. El cual consta de:

Encabezado de inicio de programa. Es el encargado de definir el programa en la memoria interna del CNC bajo una dirección específica.

Lineas de encabezado de trabajo. Consisten en las operaciones preparatorias para el inicio del maquinado constituidas por una línea de cancelación de operaciones previas, descripción de herramienta de trabajo, los códigos clásicos de arranque de husillo e implementación de coordenadas absolutas en un cero pieza.

Proceso de acercamiento. Es el proceso de aproximación de la herramienta a la pieza de trabajo, este código es extraído del programa generado previamente en VISI SERIES®, lo anterior para que este sea compatible con el proceso de combinación de macros.

Declaración de macros. Se declararon tres variables de operación tipo macros para el uso de un ciclo while, la variable #1 se utilizó como variable incremental para la operación del ciclo, mientras que la variable #2 define el número de ciclos a realizar y la variable #3 marca la profundidad de corte.

Combinación de macros. Se combinó el proceso de maquinado a una capa generado por el programa VISI SERIES® con un ciclo while el cual tiene como función repetir el perfilado generado por el proceso de maquinado rowing espiral en donde las variables #1 y #3 se incrementan en +1 y -0.5 respectivamente, una con la finalidad de controlar el número de repeticiones y la otra para manejar la profundidad de corte necesaria de acuerdo al proceso de maquinado.

Lineas de terminación de maquinado. Estas líneas marcan los procesos de paro de maquina y retorno a la posición de referencia, así como la terminación del programa.

Código base	Descripción
% O1000	Inicio de programa y nombre
N1 G0 G40 G80 G90 G98 N2 (FRESA CILINDRICA DIAM. 6.35) N3 M3 S1000 N4 G80 G90 N5 G54 N6 (DESBASTE EN ZIG-ZAG)	Lineas de encabezado de trabajo y preparación del proceso de maquinado.
N7 G0 X-16.922 Y93.178 N8 Z3.178	Proceso de acercamiento para inicio de trabajo (VISI SERIES®).
N9 #1=1; N10 #2=20; N11 #3=-0.5;	Declaración de macros para el uso un ciclo.
N12 WHILE[#1LE#20]DO1 Codigo de maquinado (VISI) NX #1=#1+1; NXX #3=#3-0.5; END1	Combinación de macros con código base de una capa generado por el programa VISI SERIES®.
NY G0 Z10. NYY G28 G91 Z0 M9 NYYY G28 G91 X0 Y0 NYYYY M30 %	Lineas de terminación de trabajo de maquinado.

Tabla 2 Esquema de programación de procesos de maquinado haciendo uso de macros.

Con lo anterior se optimizó el proceso de mecanizado planteando una alternativa que reduce la cantidad de líneas de código generado por el programa VISI SERIES®. En las Figuras 15a y 15b se muestra una simulación de las trayectorias de corte generadas por la implementación de la estrategia de corte.

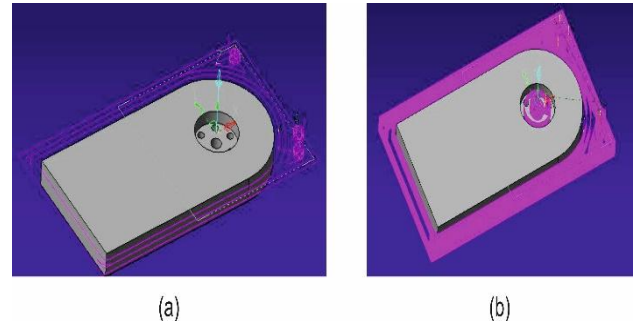


Figura 15 Simulación de trayectorias de corte: (a) una capa, (b) multiples capas.

En la figura 15a se observa que la trayectoria de corte se maneja en un plano paralelo al plano inicial xy, mientras que en la Figura 15b se muestra la combinación de múltiples capas de maquinado 2D conectadas por cortes en el eje Z en forma de espiral controlado por los macros desarrollados y el ciclo while utilizado.

Resultados

Con el desarrollo del presente trabajo se obtuvo una cadena cinemática abierta para la asistencia en la rehabilitación de miembros superiores, que contó con cinco grados de libertad, los cuales son compatibles con los momentos de abducción-aducción, flexión-extensión y pronación-supinación del hombro, así como los movimientos de flexión-extensión y pronación-supinación de codo, lo que es observable en los gráficos de simulación del espacio de trabajo así como en los desplazamientos angulares sensados y mostrados en las Figuras 11,12 y 13.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis por elemento finito. En donde se observa que los elementos están esforzados por debajo del esfuerzo admisible del material utilizado.

Movimiento	Esfuerzo (MPa)	% respecto al esfuerzo admisible	Eslabón esforzado
Abducción-hombro	10.48	38%	Eslabón I
Aducción-hombro	5.156	19%	
Flexión-hombro	0.2439	1%	
Extensión-hombro	22.46	81%	
Pronación-hombro	10.34	38%	
Esfuerzo admisible (MPa)	27.57		

Tabla 3 Resumen de esfuerzos correspondientes a los movimientos articulares.

Aun cuando el análisis muestra que ninguna de las piezas excede el esfuerzo admisible para el aluminio 1060, se optó por aumentar el espesor del eslabon I en un 15 %, puesto que en todas las simulaciones se determinó que es el elemento mas esforzado, lo anterior se decidió teniendo en cuenta que el exoesqueleto se plantea para sesiones de fisioterapia, las cuales requieren de movimietos repetitivos dando lugar a esfuerzos por fatiga.

Del proceso CAM se encontró una reducción de código promedio del 13% con respecto al generado por el programa VISI SERIES®. Lo cual se puede observar en la tabla 4.

Proceso	lineas de codigo (VISI)	Lineas de codigo (Macros)	% de reducción
1 (Eslabon I,II,III)	34701	3470	10
2 (Eslabon IV, V)	5441	708	13
3 (Eslabon VI, VII)	39845	5976	15
Promedio	26662.33	3384.66	13

Tabla 4 Resumen las lineas de codigo desarrolladas en VISI SERIES® y la implementación de Macros.

En la Tabla 4 se muestran tres procesos de mecanizado correspondientes a los eslabones marcados en cada uno. Al implementar los macros reportados se observa una reducción de las líneas de código a procesar. Los códigos anteriores se adecuaron para el control FANUC Oi-Mb, de un centro de maquinado, en donde se propone realizar la fabricación del exoesqueleto en un trabajo posterior.

Conclusión

Se ha desarrollado un sistema exoesquelético de cinco grados de libertad enfocado a la rehabilitación de miembros superiores, tomando en cuenta la antropometría de las personas mexicanas de edades de 19 a 24 años de edad donde el diseño es compatible con los movimientos articulares del brazo y hombro conociendo los movimientos articulares del miembro superior. Además se analizaron los grados de libertad de cada articulación contando para el hombro con 3 GDL (abducción- aducción, flexión – extensión, pronación- supinación) y para el codo 2 GDL (flexión – extensión, pronación - supinación). En el modelo 3D se le adoptó el movimiento de pronación- supinación el cual es un aporte respecto a los trabajos previamente discutidos, puesto que carecen de el.

En el trabajo de simulación se visualizó la distribución de esfuerzos que tiene el exoesqueleto desarrollado a través del análisis del elemento finito definiendo el tipo de material y el peso del miembro superior.

Se realizó un estudio de la biomecánica del miembro superior donde a través de gráficas se observaron los grados y movimientos articulares del hombro y codo, los cuales fueron comparados con la implementación de un sensor de rotación haciendo pruebas correspondientes a los movimientos articulares del hombro, donde se observó que los movimientos del cuerpo humano son compatibles, respecto a los movimientos generados por el exoesqueleto. Con una desviación menor al 10%. Lo cual se puede apreciar en la figura 13.

El proceso de diseño del exoesqueleto reportado en el presente trabajo es el resultado de la implementación directa de un sistema CAD-CAM-CAE validando las proporciones del modelo y su resistencia bajo condiciones de trabajo determinadas, las cuales esforzaron el material hasta el 38% respecto al esfuerzo admisible. Así mismo se presenta el desarrollo del presente trabajo como una propuesta factible para su fabricación y posterior implementación.

Referencias

- [1] Ayala Lozano, J., Urriolagoitia Sosa, G., Romero Angeles, B., Torres San Miguel, C., Aguilar Pérez, L., & Urriolagoitia Calderón, G. (2015). Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12.
- [2] Gutierrez, R., Niño Suarez, P., Aviles Sanchez, O., Vanegas, F., & Duque, J. (2007). Exoesqueleto Mecatronico de Ingenieria Mecanica. *8° Congreso Iberoamericano de Ingenieria Mecanica*, 9.
- [3] Badesa, F., Sabater, J., Lopez, L., Garcia, N., Morales, R., & Rodriguez, L. (2012). Optimización del diseño de un sistema robótico dual para rehabilitación de miembros superiores mediante método Kabat. *Revista Universtaria en Telecomunicaciones, Informatica y Control. Volumen 1 No.1*, 5.
- [4] Lugo Gonzalez, E., Ponce, P., Molina, A., & Castro, S. (2014). Co-simulación del Diseño Biomecanico para un Exoesqueleto Robotico de Miembro Inferior. *Revista Mexicana de Ingenieria Biomedica. Volumen 35 Numero 2*, 14.
- [5] Tibaduiza, D., Chio, N., Grosso, J., & Anaya, M. (2009). Diseño de un Exoesqueleto Mecatronico de Brazo Basado en Screws y Robots Paralelos. *Congreso Internacional de Ingenieria Mecatronica. UNAB Vol 1. No.1*, 8.
- [6] Enriquez, S., Narvaez, Y., Vivas, O., Diez, J., Badesa, F., Sabater, J., & Garcia-Aracil, N. (2014). Sistema Robotico de Tipo Exoesqueleto para la Rehabilitacion de la Mano. *Actas de las XXXV Jornadas de Automatica.*, 7.
- [7] Rincon G., L., Anar P, F., & Torres R, A. (2011). Exoesqueleto para la Flexión del Brazo por medio de FES en pacientes con niveles de Lesión Medular C5-C7. *3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica – UNAB*, 5.
- [8] Aguirre Gil, I., & Balza, M. (2015). Diseño y Construcción de un Exoesqueleto de Brazo con Dos Grados de Libertad Controlado con Señales Mieléctricas para Rehabilitación Motora. *MULTICIENCIAS, Vol. 15, N° 1*, 10.

- [9] Singaña, M., Manjarres, F., Molina Molina, M., & Sancho Culcay, J. (2010). Diseño y Construcción de un Exoesqueleto de 6 GDL para Potenciar las Capacidades en Personas que han perdido la Movilidad Parcial del Miembro Superior Derecho. *Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas*, 8.
- [10] Avila Chauranu, R., Prado Leon, L., & Gonzalez Muñoz, E. *Dimensiones Antropométricas, población Latinoamericana, Mexico-Cuba-Colombia-Chile-Venezuela*. Guadalajara; Centro de Investigación en Ergonomía (1999).
- [11] Lugo Villeda, M. (2007). Diseño robótico de un exoesqueleto pediátrico de miembro superior basado en criterios clínicos y antropométricos para análisis de movimiento y rehabilitación. *XV COMROB 2013, FACULTAD DE ELECTROMECHANICA*, 9.
- [12] Montenegro-Meza, M., Lugo Villeda, M., Nuñez Nalda, J., Gonzalez Trigueros, R., & Zaldivar Colado, U. (2013). Análisis y diseño de un prototipo virtual de tipo exoesqueleto para rehabilitación de codo. *XV COMROB 2013, FACULTAD DE ELECTROMECHANICA*, 7.
- [13] S. Gómez-González, *El gran libro de SolidWorks*, Editorial Alfaomega, México (2013).
- [14] Castel, E., & Benazet, J. (2002). Fracturas y Traumatismos del Hombro. *EMC - Tratado de Medicina Volume 6*, 7.
- [15] Ciaffaroni Castro, D., Cucco, A., Dellatorre, L., Mazzone, J., & Bazán, N. (2011). Estimación del peso total en personas amputadas en miembros inferiores. *ReCAD – Revista electrónica de Ciencias Aplicadas al Deporte*, Vol. 4, N°13, 7.
- [16] Matlab 2012, Matlab R2012b, versión 8.0.0.783, Agosto 22, 2012.
- [17] VISI Series, Versión Release 12.1.

Laboratorio Virtual “Si 1-StubMatch” para el Diseño de Acopladores de Impedancias usando Brazos Reactancia

PORRAGAS, Luis*†, MARÍN, Luis, VÁZQUEZ, Alejandro y PORTILLO, Rogelio.

Recibido Abril 20, 2016; Aceptado Junio 16, 2016

Resumen

Un proceso fundamental en el diseño de circuitos de RF es la adaptación de impedancias, este trabajo presenta un método complementario a los tradicionales considerando el uso de la carta de Smith como herramienta electrónica e implementada en forma de un simulador interactivo, cuyo objetivo fundamental es mostrar paso a paso la metodología de diseño y aplicar eficientemente los brazos reactancia sencillos impactando en la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje a través del desarrollo de una herramienta didáctica y tecnológica que facilite y fomente el autoaprendizaje que conlleve a la aplicación práctica del conocimiento. Esta herramienta consiste en un Laboratorio Virtual interactivo con una interfaz gráfica amigable que permite seguir la metodología de diseño de los acopladores bajo la técnica del Brazo Reactancia Sencillo, aprovechando las ventajas del método gráfico de la Carta de Smith y favoreciendo la reducción de errores de interpretación y el tiempo de realización al implementarse mediante un programa. La validación del simulador se desarrolla con casos prácticos reales, y se hace una comparación con herramientas computacionales existentes, mostrando su alta efectividad y ventajas para su uso como herramienta de apoyo.

Brazo Reactancia, Carta de Smith, Acoplamiento de Impedancias, Lineas de Transmisión

Abstract

A fundamental process in the design of RF circuits is impedance matching, this paper presents a complementary method to traditional considering using the Smith chart as electronics and implemented tool in the form of an interactive simulator, whose main objective is the design and efficiently implement single stub match and improve the teaching-learning process through the development of an educational and technological tool that facilitates and promotes self-study that may lead to the practical application of knowledge. This tool is an interactive Virtual Laboratory with a friendly graphical interface that allows you to follow the design methodology of the impedance matching under the technical single stub match, taking advantage of the graphical method of the Smith Chart and favoring the reduction of misinterpretations and the completion time to be implemented by a program. Simulator validation develops practical situations, and a comparison with existing computational tools is showing its high effectiveness and advantages for use as a support tool; while its impact on student learning was measured through surveys and tests applied to them.

Single Suth, Smith Chart, Impedance Matching, Transmission Line

Citación: PORRAGAS, Luis, MARÍN, Luis, VÁZQUEZ, Alejandro y PORTILLO, Rogelio. Laboratorio Virtual “Si 1-StubMatch” para el Diseño de Acopladores de Impedancias usando Brazos Reactancia. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 13-21

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: lporragas@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los equipos de cómputo ofrecen grandes ventajas de procesamiento matemático asociado a velocidad y exactitud, lo que converge en una herramienta efectiva y eficiente para el análisis y diseño de sistemas de RF, en particular en el diseño de acopladores de impedancia cuando los sistemas a interconectar presentan diferentes valores nominales en sus terminales de entrada/salida. Actualmente, el desarrollo de ambientes virtuales constituye una herramienta imprescindible en los procesos de enseñanza aprendizaje, ya que los ambientes gráficos e interactivos facilitan el entendimiento y la interrelación del usuario con las diferentes variables involucradas en un sistema real. Con respecto al diseño de acoplamientos empleados en los sistemas de líneas de transmisión y en muchos sistemas de RF, la carta de Smith es un método gráfico que permite determinar los parámetros mínimos de diseño del acoplador con relativa facilidad y rapidez, siempre que se tenga cierta experiencia con la aplicación de los procedimientos asociados. Como objetivo particular de este laboratorio, se busca ilustrar el proceso de diseño a través de una interfaz gráfica que permita interactuar al usuario con los trazos a realizar y la interpretación de los valores obtenidos en la carta de Smith, proporcionando una excelente herramienta de enseñanza aprendizaje a nivel ingeniería para resolver los problemas de acoplamiento de líneas de transmisión empleando brazos reactancia sencillos.

La interfaz permite establecer las especificaciones iniciales del sistema y la visualización paso a paso de los trazos necesarios en la carta de Smith, así como de los diferentes valores arrojados por el simulador de manera exacta y sistemática, lo cual ayuda a evitar los errores de interpretación por parte del usuario.

Así mismo, mostrar la vinculación de cada movimiento en la carta de Smith, con su respectivo cambio físico en el sistema a acoplar. La versión desarrollada maneja una interfaz amigable e interactiva que muestra los cambios relativos a los 2 parámetros de diseño del brazo reactancia sencillo siendo estos: la ubicación o posición del brazo en el sistema (d) y la longitud necesaria del mismo (l). El simulador muestra diversos valores relacionados con las variables involucradas en la metodología del diseño a lo largo del proceso, de manera similar que algunos de los simuladores más citados en referencias electrónicas como por ejemplo los simuladores interactivos “*single stub tuning*” de ©Amanogawa (Amanogawa.com, Parallel Stub Tuning, 2010) (Amanogawa.com, Serie Stub Tuning, 2010), o los programas de procesamiento matemático tales como Matlab® o MathWorks®; el laboratorio virtual **Si 1-StubMatch** pretende incorporar las bondades de estos programas en una sola interface gráfica amigable y confiable al usuario.

La carta de Smith es esencialmente una “*calculadora gráfica*” que permite que desarrollos matemáticos relativamente complicados que utilizan diversas técnicas algebraicas y números complejos, puedan ser reemplazados por construcciones geométricas de fácil interpretación. Esto ayuda a realizar adaptaciones de impedancia con un mínimo de trazos sobre la carta de Smith en lugar de cálculos laboriosos y tardados.

Durante la década de los 40 (1939 se publicó (Smith, 1939)), la Carta de Smith ha sido un auxiliar en el diseño manual de procedimientos de síntesis y análisis de acoplamientos de impedancias; sin embargo, actualmente este procedimiento o método de cálculo no es eficiente ya que presenta una exactitud limitada debido a la acumulación de errores de interpretación (humanos) en cada uno de los pasos realizados; debido a esto, existe un gran interés en automatizar esta herramienta gráfica para mejorar los procesos de diseño y de enseñanza-aprendizaje con la finalidad de lograr una solución eficiente en diferentes problemáticas de aplicación práctica de la ingeniería (principalmente en el área de RF). Muchos de estos desarrollos se basan por lo general en objetos diseñados en Java® (Amanogawa.com, Parallel Stub Tuning., 2010) (Amanogawa.com, Serie Stub Tuning, 2010) o animaciones en Flash® (Ramos, 2012) siendo muy pocos hasta ahora los desarrollados en LabView®. Java® se emplea generalmente cuando se necesita velocidad o tener una simulación muy compleja, Flash® tiene más ventajas para aplicaciones *e-learning*s y LabView® es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico para aplicaciones en tiempo real, se aplicaba principalmente para soluciones industriales, pero actualmente se está incrementando su uso en el desarrollo de equipos educativos y de investigación interactuando con diferentes lenguajes y aplicaciones como NET®, ActiveX®, Multisim®, Matlab®/Simulink® y AutoCAD®.

El resto del trabajo se estructura como sigue: en la Sección 2 se describen las principales características del acoplamiento de impedancias y la justificación de su diseño en dicho proceso.

El desarrollo del simulador para el diseño de los mismos es tratado en la Sección 3, con algunos resultados de validación y comparación, y por último en la Sección 4, se plantean las conclusiones generales del trabajo.

Acoplamientos de Impedancias.

En la práctica, las líneas de transmisión son el medio de interconexión entre una etapa generadora de señales (transmisor o etapa precedente) y una etapa receptora (etapa terminal o carga), donde regularmente su impedancia característica difiere de las impedancias de estas etapas. Esto genera un patrón estacionario en la línea como resultado de la suma instantánea de ondas reflejadas viajando en sentido inverso a la señal incidente proveniente de la etapa generadora. Este patrón de distribución de energía no uniforme a lo largo de la línea de transmisión como se observa en la Figura 1, se denomina “Patrón de Onda Estacionaria”.

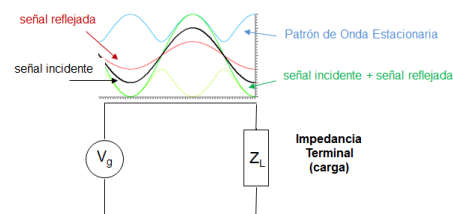


Figura 1 Patrón de Onda Estacionaria.

Para líneas de transmisión de energía o de información, la reflexión de potencia habitualmente es perjudicial, y está acompañada de sobretensiones y sobrecorrientes en la línea de transmisión; además, la distribución no uniforme de la potencia a lo largo de la línea genera puntos con elevadas concentraciones de temperatura (puntos calientes). Estas pérdidas por retorno deben reducirse al máximo, por lo que una técnica consiste en introducir una sección o tramo de línea de transmisión entre la línea de transmisión original y la carga, de tal modo que en las terminales de entrada de esta sección no se presente señal reflejada en este punto la impedancia es igual a la impedancia característica de la línea de transmisión; esto se conoce como adaptación de impedancia. (Neri R, Febrero 2013) (Blake, 2004)

Un buen sistema de acoplamiento es indispensable y representa la base para el funcionamiento óptimo de los sistemas. El objetivo de diseño es lograr que el valor del Coeficiente de Reflexión “ Γ ” sea mínimo (muy pequeño, idealmente cero), de modo que la potencia transferida a la carga sea máxima. Por lo general, un acoplamiento se considera aceptable si su magnitud se maneja en el rango de $|\Gamma| \leq 0.3$ (Neri R, Febrero 2013) (Blake, 2004). Los parámetros que definen usualmente las características de reflexión en una línea de transmisión son la Razón de Onda Estacionaria (ROE) y el Coeficiente de Reflexión (Γ). En esencia, es una medida de la falta de compensación entre la impedancia de carga y la impedancia característica de la LT. La ROE se puede considerar como una figura de mérito inversa, y se puede medir, esta es su principal ventaja sobre el coeficiente de reflexión (Γ), el cual es más útil y se emplea más en los cálculos. La ROE y el Γ se relacionan a partir de la ecuación 1:

$$ROE = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (1)$$

Su valor ideal es 1 y el pésimo ∞ , algunas bibliografías consideran su rango práctico entre 1.5 y 2 ($1.5 \leq ROE \leq 2.0$) (Neri R, Febrero 2013) (Blake, 2004), con estos valores de ROE y Γ prácticos, se entrega a la carga entre el 89% y el 96% de la potencia incidente ($96\% \geq P_{\text{carga}} \geq 89\%$, $0.2P_{\text{inc}} \leq P_{\text{ref}} \leq 0.333P_{\text{inc}}$).

Existen diferentes técnicas de acoplamiento dependiendo del rango de frecuencias de trabajo del acoplador, las más comunes son a través de circuitos como son las redes acopladoras tipo “L”, “T” y “ π ” para bajas frecuencias; y mediante el uso de tramos de líneas de transmisión como elementos simulados para alta frecuencia, tales como los transformadores de un cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$, inversores de impedancia) y los brazos reactancias (sencillo, doble y triple). En general, no es posible que el acoplador trabaje eficientemente en un rango amplio de impedancias, puesto que las condiciones del acoplador varían si la carga o algún parámetro del sistema como la frecuencia cambian; estas situaciones requieren el diseño de adaptadores o redes de adaptación de mayor ancho de banda o dinámicas, es decir, sintonizables.

Laboratorio Virtual 1-StubMatch

Considerando el análisis preliminar con respecto a las ventajas que LabView® brinda como herramienta de aplicación, se ha desarrollado el laboratorio virtual denominado *Si 1-StubMatch*, este simulador se basa en una carta de Smith electrónica (Si-CSmith (Porrugas, 2014)) con una interfaz gráfica a través de la cual se despliegan los parámetros básicos para el diseño y análisis de problemas de acoplamiento de impedancias empleando brazos reactancia.

Aun cuando existen herramientas más sofisticadas, *Si 1-StubMatch* se distingue por su simplicidad, facilidad de uso y la confiabilidad de sus resultados, además, de ser uno de los primeros gráficos interactivos de la carta de Smith completamente desarrollado en LabView®. Una razón importante que justifica el desarrollo de herramientas que simulen y apliquen la carta de Smith, es ayudar a entender los cambios que se producen al variar parámetros como la carga, la longitud de la línea o la posición a lo largo de la línea, obteniendo así información valiosa del comportamiento de sistemas específicos. Para el diseño del laboratorio se ha empleado LabView® como herramienta gráfica ya que permite una implementación modular a partir de sub-instrumentos (“SubVI’s”, subrutinas) para ejecutar tareas específicas y lograr así una reducción y simplificación en la estructura final y una posible reutilización de los subVI’s en otras aplicaciones similares. La Figura 2 muestra los módulos principales que integran el laboratorio virtual *Si 1-StubMatch*.

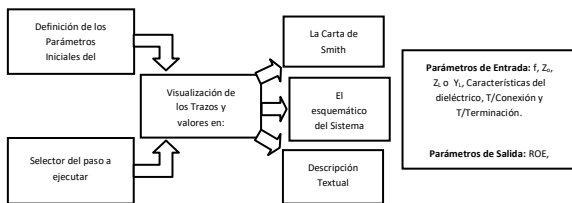


Figura 2 Módulos (SubVI’s) del laboratorio Virtual Si 1-StubMatch.

El programa consta de 5 módulos primarios (los cuales definen los subVI’s) 2 de ellos son a través de los cuales el usuario interactúa con el simulador: a través del primero se alimentan los datos iniciales al simulador, con el segundo el usuario controla paso a paso el proceso de diseño del acoplador.

Los otros 3 módulos son de salida a través de los cuales el simulador proporciona la información útil al usuario en tres representaciones: la primera mostrando su ubicación en el circuito o sistema, la segunda en la carta de Smith o de manera descriptiva a través de una ventana de texto y la tercera mostrando los valores numéricos resultantes de los trazos en la carta.

Para el caso de líneas de baja pérdida, siendo esta la consideración tomada en los acopladores que emplean tramos de líneas (brazos reactancia) para su implementación, ya que su longitud es relativamente pequeña y por lo tanto las pérdidas son despreciables, la Ec.2 describe la relación de la impedancia de entrada “ Z_{ent} ” en términos del coeficiente de reflexión Γ :

$$Z_{ent}(l) = Z_o \left(\frac{V_{inc} e^{-j\beta l} + V_{ref} e^{+j\beta l}}{V_{inc} e^{-j\beta l} - V_{ref} e^{+j\beta l}} \right) \quad (2)$$

Empleando la identidad de Euler definida por: $e^{\pm j\beta l} = \cos(\beta l) \pm j \sin(\beta l)$ y la Ec.2, se obtiene la Ec.3, la cual permite determinar la impedancia de entrada considerando una longitud determinada de línea considerando a la misma de baja pérdida.

$$Z_{ent}(l) = Z_o \frac{Z_L \cos(\beta l) + j Z_o \sin(\beta l)}{Z_o \cos(\beta l) + j Z_L \sin(\beta l)} \quad (3)$$

Dónde:

$Z_{ent}(l)$.- Es la impedancia vista en las terminales de entrada de la línea de transmisión a la distancia “ l ” en referencia a la carga.

Z_L .- Es la impedancia de carga (impedancia en el extremo terminal de la línea de transmisión).

Z_o .- Es la impedancia característica de la línea de transmisión.

β .- Es la constante de fase de la línea de transmisión.

l .- Es la distancia o ubicación del punto de medición respecto a la carga.

A partir de la ecuación 2 se despeja la ubicación o distancia “ l ”, la cual representa el punto de conexión del acoplador “ d ” en función de la impedancia característica (Z_0) y la impedancia terminal (Z_L); lo cual implica cálculos laboriosos y bastante tiempo de resolución; esto se simplifica enormemente empleando el método gráfico de la carta de Smith y más aún si su implementación es mediante un programa.

El método propuesto para determinar la impedancia de entrada en una línea de baja pérdida con una longitud determinada, es mediante el uso del laboratorio virtual **Si 1-StubMatch**, el cual está basado en el método gráfico de la Carta de Smith, implicando una serie de pasos bien definidos:

1. Normalización de la impedancia de carga (Z_L) en función de la impedancia característica (Z_0) y su ubicación en la Carta de Smith.
2. Dibujar el círculo de la ROE tomando el centro de la carta y como radio la distancia al punto ubicado de la impedancia de carga normalizada.
3. Desplazarse en sentido horario (implica desplazarse de la carga hacia el generador) la distancia “ l ” a la que se quiere determinar la impedancia de entrada. A lo largo del arco del círculo se pueden apreciar los diferentes valores de impedancia a lo largo de la línea de transmisión. En este caso se debe utilizar la escala periférica es decir en longitud de onda hacia el generador, recordando que esta es la longitud de onda en el medio o dentro de la línea de transmisión, que puede diferir de la longitud de onda de espacio libre.

4. Establecido el punto final se desnormaliza la impedancia, siendo este el valor de la impedancia a la entrada de la línea de transmisión $Z_{ent}(l)$.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo para la utilización del simulador **Si 1-StubMatch**.

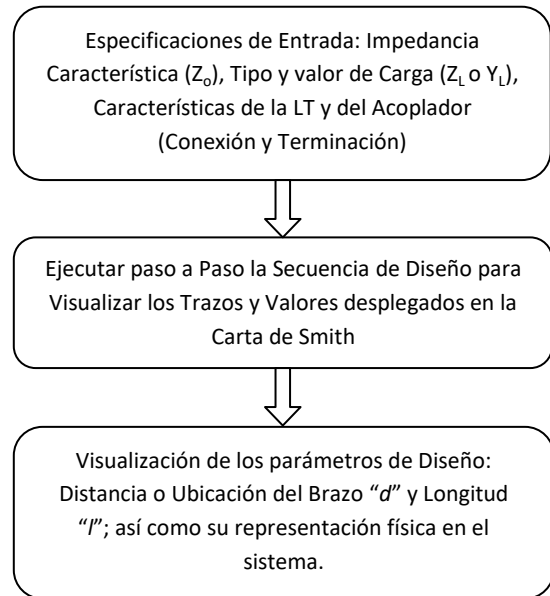


Figura 3 Diagrama para el uso de Si 1-StubMatch.

Resultados del uso del laboratorio virtual si 1-stub match

En la Figura 4 se muestra la interfaz gráfica de **Si 1-StubMatch**, en la que se pueden visualizar al mismo tiempo todos los resultados obtenidos de las diferentes variables eléctricas a considerar en un análisis.

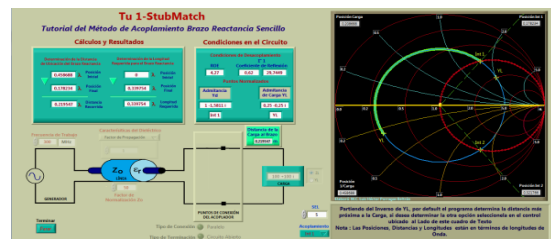


Figura 4 Interface gráfica de Si 1.StubMatch.

La validación del instrumento se basa en múltiples pruebas de diseño con problemas resueltos en diferentes bibliografías y otros simuladores (Amanogawa.com, Parallel Stub Tuning., 2010) (Ramos, 2012). En particular, se plantea un problema cuyos parámetros de entrada son: La frecuencia de trabajo $F_{gen}= 300$ MHz, la Impedancia Característica de la Línea $Z_0=50\Omega$ y su Factor de Propagación=1, la Impedancia de Carga $Z_L=100+j100 \Omega$, y las características del brazo a conectar, es este caso en paralelo y terminado en corto circuito; los parámetros a calcular son:

- a) Coeficiente de Reflexión,
- b) Razón de Onda Estacionaria.
- c) Especificaciones del Acoplador: distancia de conexión y longitud del brazo (2 opciones) y
- d) Impedancia normalizada en el punto de conexión del brazo. El planteamiento del problema se representa de manera gráfica en la Figura 5.

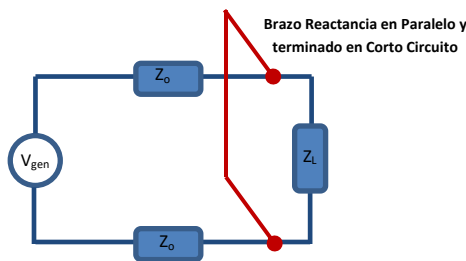


Figura 5 Planteamiento del problema. (Neri R, Febrero 2013).

Siguiendo el procedimiento establecido, los resultados se muestran en la Tabla 1, en la que se realiza una comparación con instrumentos virtuales similares con otras plataformas de desarrollo y cuyos paneles se muestran en las Figuras 6 y 7 respectivamente.

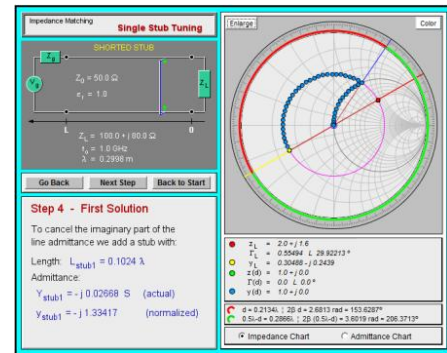


Figura 6 Panel gráfico del simulador hecho en Java® (Amanogawa.com, Parallel Stub Tuning., 2010).

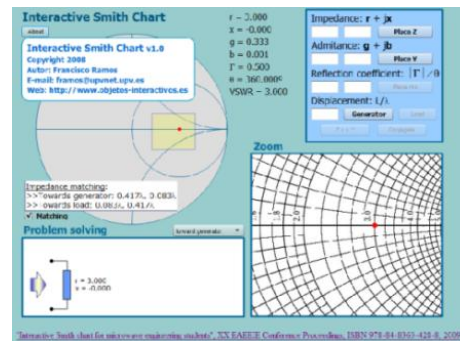


Figura 7 Panel gráfico del simulador hecho en Flash® (Ramos, 2012).

Inciso		Si 1-StubMatch	Instrumento En Java®	Instrumento En Flash®
a) ROE		4.2656	2.618	4.266
b) Γ	Mag Γ_L	0.6202	0.62017	0.620
	Ang Γ_L	29.7449°	29.7448°	29.745°
	P_{YL}	0.458688 λ	No la calcula	No la calcula
d) P_{Int}	P_{Int1}	0.178234 λ	No la calcula	No la calcula
	P_{Int2}	0.321766 λ	No la calcula	No la calcula
e) d_{Brazo}	d_{min}	0.219547 m	0.2195 λ (158.07°)	0.220 λ
	d_{max}	0.363078 m	0.3631 λ (261.41°)	0.363 λ
f) l_{Brazo}	l_{min}	0.0897543 m	0.0898 λ	No la calcula
	l_{max}	0.410246 m	0.4102 λ	No la calcula
e) B_{frec}	f_{min}	No lo calcula	283.5 / 317.1 MHz	No la calcula
	f_{max}	No lo calcula	291 / 306.9 MHz	No la calcula
	BW	No lo calcula	33.6 / 15.9 MHz	No la calcula

Tabla 1 Valores obtenidos del Problema propuesto en cada uno de los simuladores.

De la comparación de los resultados anteriores, se pudo comprobar y validar la precisión y exactitud del instrumento, así como su versatilidad, facilidad, simplicidad y capacidad para la presentación de los resultados lo cual repercute directamente en el fácil entendimiento y fijación del conocimiento sobre el diseño de brazos reactancias sencillos aplicando el método gráfico de la carta de Smith.

Conclusiones

Las técnicas analíticas suelen ser la mejor forma de abordar un problema y comprender el comportamiento del mismo. Por otra parte, las técnicas de análisis son a menudo el primer paso cuando se buscan resultados numéricos. Se desarrolló este tutorial interactivo del método de acoplamiento el brazo reactancia sencillo en forma de laboratorio virtual totalmente en LabView®.

Este recurso educativo dirigido a estudiantes de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones permite el estudio, análisis e interpretación del proceso de diseño de los acopladores bajo la técnica del brazo reactancia sencillo de una forma más rápida y amigable.

Los estudiantes encontraron a **Tu 1-Stub Match** una herramienta atractiva, innovadora, de fácil uso y con grandes ventajas en la reducción de los tiempos de resolución de los problemas y en la adquisición y fijación del conocimiento, así como la asimilación práctica de la técnica del brazo reactancia sencillo para un adecuado diseño y aplicación.

De la comparación de los resultados mostrados en la Tabla 1, se pudo comprobar y validar la precisión y exactitud del instrumento, así como su versatilidad, facilidad, simplicidad y capacidad para la presentación de los resultados, lo cual repercute directamente en el fácil entendimiento por parte del usuario del procedimiento para acoplar una línea de transmisión con la técnica del brazo reactancia sencillo aplicando el método gráfico de la carta de Smith.

De las comparativas realizadas entre las interfaces se pueden sintetizar las siguientes diferencias.

- El Si **1-StubMatch** es una interface que muestra cada uno de los trazos realizados, lo cual le permite al usuario seguir cada uno de los pasos a su propio ritmo de ejecución hasta completar el acoplamiento. Inclusive, en cualquier momento le permite regresar para realizar al paso inmediato anterior o a los que sean necesarios.
- El **Si 1-StubMatch** tiene una mayor interactividad al permitir que el usuario decida las características del acoplador y la secuencia de acoplamiento.

- En el Simulador en Java® (Amanogawa.com, Parallel Stub Tuning., 2010) (Amanogawa.com, Serie Stub Tuning, 2010) solo es posible decidir el tipo de terminación del brazo en caso de querer conectarlo diferente (serie o paralelo) usando otro simulador, es decir, se necesitan 2 programas.
 - En el Simulador de Flash® (Ramos, 2012) la interface no es nada amigable además de no mostrar la metodología de diseño ni explica cómo o de dónde salen los valores numéricos de acoplamiento, por lo que para el usuario con poca experiencia la información es difícil de interpretar para su aplicación práctica.
 - El **Si 1-StubMatch** brinda la ventaja de ser una interfaz en español siendo más amigable al usuario, además de contar con un cuadro de texto en el que se describe de manera detallada el procedimiento que acompaña los trazos en la carta y en condiciones en el circuito.
 - Los resultados obtenidos por el **Si 1-StubMatch** son bastante similares a los del simulador de Java®, cuya discrepancia radica en la resolución empleada, esto es posible ajustarse con el inconveniente de sacrificar el tiempo de ejecución.
- [4]. Amanogawa Parallel Stub Tuning. <http://www.amanogawa.com/archive/SingleStub/SingleStub-2.html>
- [5]. Amanogawa Serie Stub Tuning. <http://www.amanogawa.com/archive/SeriesStub/SeriesStub-2.html>
- [6]. F.Ramos. Interactive Smith Chart (online) <http://labvirtual.webs.upv.es/smith.htm>
- [7]. L. Porrugas. Laboratorio Virtual Interactivo **Si-CSmith** (Simulador para el Análisis y Aplicación del Método Gráfico de la Carta de Smith). Innovación Tecnología y Educación (CIVITEC 2014). Tomo 5 Ingenierías, pp 962-971.

Referencias

- [1]. Smith P. (1939). "Transmission-Line Calculator". Electronics. Vol. 12, No.1, pp 29-31.
- [2]. Neri R. & Porrugas L. (Febrero 2013). Líneas de Transmisión. Veracruz, México: Universidad Veracruzana. pp. 182-196.
- [3]. Blake R. (2004). Sistemas Electrónicos de Comunicaciones. México: Thompson Intl. pp. 182-196.

Control de impedancia basado en un modelo de toma de decisión

PORTILLO-VÉLEZ, Rogelio*†, MARÍN-URÍAS, Luis, VÁZQUEZ-SANTACRUZ, J y PORRAGAS-BELTRÁN, Luis.

Recibido Abril 4, 2016; Aceptado Junio 6, 2016

Resumen

En este trabajo se presenta un novedoso esquema de control de impedancia basado en un modelo de toma de decisión para un brazo robótico. La idea fundamental es generar una variación de la impedancia del manipulador robótico en tiempo real. Se asume que se ejerce una fuerza medible en el efector final la cual, en conjunto con el error cartesiano de seguimiento de trayectorias, permite tomar la decisión de aumentar o disminuir la impedancia del sistema de control. Para modelar el proceso de toma de decisión se consideró el modelo de toma de decisión Win-Stay Lose-Switch (WSLS). El desempeño del esquema de control propuesto se mide utilizando un índice de error de seguimiento de trayectoria. Para validar la efectividad del esquema de control, se presentan simulaciones numéricas para diversas condiciones de trabajo.

Impedancia, Robótica, Rehabilitación, Toma de decisión

Abstract

This paper presents a novel impedance control scheme based on a decision-making model for a robotic arm. The fundamental idea is to generate a variation of the impedance of the robotic manipulator in real time. It is assumed that the patient has a measurable force on the end effector which, together with the Cartesian trajectory tracking error, can make the decision to increase or decrease the impedance of the control system. To model the decision-making process decision-making model Stay Win-Lose-Switch (WSLS) was considered. The performance of the proposed control scheme is measured using an error rate trajectory tracking. To validate the effectiveness of the control scheme, numerical simulations for different working conditions are presented.

Impedance, Robotics, Rehabilitation, Decision Making

Citación: PORTILLO-VÉLEZ, Rogelio, MARÍN-URÍAS, Luis, VÁZQUEZ-SANTACRUZ, J y PORRAGAS-BELTRÁN, Luis. Control de impedancia basado en un modelo de toma de decisión. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 22-30

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rportillo@uv.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El control de fuerza para la interacción física de robots manipuladores se ha abordado usando el control de impedancia (Portillo, 2015). Tradicionalmente la impedancia de un robot manipulador es constante, lo cual impide una adecuada interacción robot-humano. El problema que se aborda en este trabajo es el control de impedancia de un dispositivo robótico. El control del dispositivo robótico pretende integrar modelos de toma de decisión, los cuales permitan que el robot pueda variar la rigidez del mismo dependiendo de la fuerza que se ejerza en el efector final del robot.

Han surgido varias propuestas las cuales implican el controlar la variación de la impedancia de un sistema robótico durante la interacción robot humano. Uno de ellos se centra en el control de la variación de impedancia en un manipulador redundante, KUKA LWR4, el cual es usado para que el mismo sea guiado por un humano al dibujar. El control del mismo fue diseñado para realizar acciones en cooperación con humanos, esto de forma que el operador mueve el efector final del robot en direcciones arbitrarias. La dinámica del efector final es modelada como un sistema masa-amortiguador. La meta de esta estrategia es variar el amortiguamiento y la masa del robot de forma que se adecúe al movimiento del operador durante la interacción física. La idea general fue la de variar el amortiguamiento de acuerdo a la velocidad cartesiana absoluta que presenta el efector final (Ficuciello, 2015). Otra propuesta, pero ahora aplicada totalmente a la rehabilitación y los movimientos terapéuticos surgió en Turquía.

Ésta consiste en replicar y automatizar los movimientos pasivos normalmente aplicados por un fisioterapeuta en la rehabilitación de la rodilla usando un método de impedancia variable, simulando que el terapeuta la aplicara, pero solo con la ayuda del robot. El método empleado consiste en modelar el brazo del terapeuta como un solo resorte y simplifica mucho el modelo. Existe una fase de aprendizaje donde se toman datos de posición y velocidad durante una terapia normal para después calcular los datos necesarios y poder ajustar la impedancia correctamente (Yalcın, 2014). Un acercamiento algo diferente es la de un robot usado para rehabilitación de extremidades inferiores el cual utiliza un control variable de impedancia basado en una estrategia de control de voltaje, de forma que la dinámica no lineal del robot de rehabilitación se puede tomar como una carga externa, debido a esto la ley de control no depende de la dinámica del robot y el controlador de impedancia es computacionalmente más simple (Khoshdel, 2015). Existen de igual manera otras propuestas diferentes a control de impedancia en rehabilitación. Un ejemplo es el propuesto para desarrollar un robot de rehabilitación de extremidades superiores después de un ataque cardíaco. La fuerza requerida es calculada por un algoritmo planificador de trayectorias. El control propuesto es similar al controlador de impedancia, aunque éste permite especificar la fuerza de referencia variable con el tiempo directamente (Erol, 2007).

Otro ejemplo es el robot GENTLE/s, utilizado para neurorehabilitación de pacientes que sufrieron un paro cardiaco. GENTLE/s permite que el paciente practique movimientos en los cuales tiene que llegar de un punto a otro en un ambiente tridimensional dentro de un ambiente háptico virtual. GENTLE/s provee de asistencia a los pacientes para moverse a las posiciones meta a lo largo de un camino predefinido, esto usando un control de admitancia (Loureiro, 2003). Una propuesta más reciente es la de desarrollar el control de un sistema robótico para asistir mediante rehabilitación a los pacientes que de igual manera sufrieron un paro cardiaco.

La meta es que la ley de control provee una fuerza asistida óptima variable en el tiempo en diferentes condiciones variables físicas y ambientales. Se propuso una red neuronal artificial (ANN) la cual ajuste automáticamente las ganancias de un controlador PI. La red neuronal se es entrenada con los parámetros de brazos humanos como entradas y las ganancias del controlador como salidas (Erol, 2005).

Modelos matemáticos del robot

Sin pérdida de generalidad se considera un robot rígido con 3 grados de libertad rotacionales, su efector final se puede mover en un espacio cartesiano 2-dimensional con una orientación, por lo tanto también se tienen 3 grados de libertad cartesianos. El modelo de cinemática directa para el robot es un mapeo no-lineal $F_{DK}: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ dado por la ecuación (1).

$$\mathbf{x} = F_{DK}(\mathbf{q}) \quad (1)$$

El vector $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^3$ representa a la posición y orientación cartesiana del efector final del robot y el vector $\mathbf{q} \in \mathbb{R}^3$ contiene las posiciones de los eslabones del robot.

De manera similar el modelo de cinemática inversa de un robot es definido como el mapeo no-lineal $F_{IK}: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ dado por la ecuación (2).

$$\mathbf{q} = F_{IK}(\mathbf{x}) \quad (2)$$

Se considera que el manipulador tiene el modelo dinámico de la ecuación (3), con eslabones rígidos, sin fricción en sus uniones y con actuadores ideales, donde $M(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^3$ representa a la matriz de inercia, $C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} \in \mathbb{R}^3$ representa el vector de fuerzas centrífugas y de Coriolis, $G(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^3$ es el vector de pares gravitacionales y $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^3$ representa al vector de fuerzas y pares aplicados en las uniones mediante los actuadores.

$$M(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + G(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau} \quad (3)$$

Los vectores $\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}} \in \mathbb{R}^3$ representan la posición, velocidad y aceleración de las articulaciones del robot manipulador.

Controlador del robot

Se considera un Controlador Proporcional Derivativo (PD) (Kelly, 2005), es una ley de control que consta de un término proporcional al error de posición $\tilde{\mathbf{q}} = \mathbf{q}_d - \mathbf{q}$ y otro término proporcional a la derivada del error de posición $\dot{\tilde{\mathbf{q}}} = \dot{\mathbf{q}}_d - \dot{\mathbf{q}}$. La ley de control de un controlador PD está dado por la ecuación (4), donde $\mathbf{K}_p, \mathbf{K}_v \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ son matrices diagonales definidas positivas y representan las ganancias del controlador en posición y velocidad, respectivamente.

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{K}_p \tilde{\mathbf{q}} + \mathbf{K}_v \dot{\tilde{\mathbf{q}}} \quad (4)$$

Los bloques interiores a la línea punteada en la figura 1 representan la implementación práctica de las ecuaciones (1) a (4). Se asume que la ley de control se implementa con un periodo de muestreo T .

$$c = \frac{1}{N}$$

La recompensa en un tiempo kT es definida como:

$$r(kT) = \begin{cases} f_A & \text{si } x_1(kT) = A \\ f_B & \text{si } x_2(kT) = B \end{cases} \quad (7)$$

Las funciones que se proponen para establecer la recompensa son de tipo lineal:

$$\begin{aligned} f_A &= k_A y(kT) + c_A \\ f_B &= k_B y(kT) + c_B \end{aligned}$$

Donde k_A y k_B son pendientes y c_A y c_B son terminos constantes de las dos curvas de recompensa.

El modelo WSLS asume que solo se tiene conocimiento de las recompensas de las dos decisiones anteriores y establece que un cambio en eleccion se hace cuando la recompensa decrece. Por lo tanto la dinámica de cambio de opción en el proceso de toma de decisión sigue la dinámica de la ecuación (8), donde \bar{x} se refiere al operador NOT.

$$x((k+1)T) = \begin{cases} x(kT) & \text{si } r(kT) \geq r((k-1)T); \\ \bar{x}(kT) & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (8)$$

Variación de la impedancia en línea

El modelo de toma de decision WSLS se puede aplicar en conjunto con el control de impedancia.

El objetivo del esquema de control propuesto en este trabajo es variar el valor de la rigidez K del modelo de impedancia de la ecuacion (5) por medio de un proceso dinamico de toma de decisiones modelado por las ecuaciones (6)-(8).

En un tiempo determinado kT , dependiendo del valor binario de la decision $y(kT)$ se puede modificar el valor K de rigidez del sistema masa-resorte amortiguador modelado para el brazo robotico en la ecuación (5), de forma que el modelo de toma de decision WSLS debe de cambiar la rigidez inteligentemente, dependiendo de los resultados de un numero determinado de decisiones tomadas anteriormente.

Para lograr la variación de la impedancia se plantea establecer la rigidez K de la ecuación (5) donde K_0 representa una matriz inicial de rigidez y ΔK representa un valor de incremento (o decremento) predeterminado.

$$K = K_0 \pm \Delta K \quad (9)$$

La medición de fuerza indica que el robot se encuentra en contacto con el operador o algún agente externo. Esta fuerza causará un error de seguimiento de trayectorias cartesianas $\mathbf{e}_c = \|\mathbf{x}_d - \mathbf{x}\|$ que se utiliza para determinar el signo positivo o negativo de ΔK en la ecuación (9). La relación entre el proceso de toma de decisión y la variación de impedancia se establece como sigue. Si el error de seguimiento \mathbf{e}_c es mayor que una tolerancia de error s se considera una decisión A, si el error de seguimiento \mathbf{e}_c es menor o igual a la tolerancia de error s se considera una decisión B. Con lo anterior la dinámica del proceso de toma de decisión establecida por las ecuaciones (6)-(8). Lo anterior se resume en la ecuación (10), la cual complementa el esquema de toma de decisión. Su efecto será rigidizar el comportamiento del robot cuando el error de seguimiento sea mayor que s .

$$x(kT) = \begin{cases} A & \text{si } \mathbf{e}_c > s \\ B & \text{si } \mathbf{e}_c \leq s \end{cases} \quad (10)$$

La figura 2 muestra la implementación práctica del esquema de control propuesto. Se agregan los bloques de error cartesiano y del proceso de toma de decisión para modificar la rigidez K de la ecuación (5).

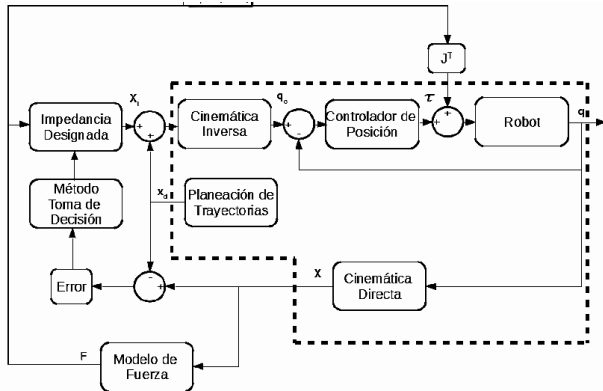


Figura 2 Esquema de control con toma de decisión implementado (impedancia variable).

Con el esquema de variación de impedancia propuesto se pretende lograr transmitir hacia el robot la decisión que toma el humano sobre si seguir una trayectoria modificándola ejerciendo una fuerza en el efector final. En el nuevo esquema de control, podemos observar que se calcula un error cartesiano a partir de la cinemática directa del manipulador. A partir de este error y del modelo de recompensa de la (7), se toma la decisión de variar la impedancia del sistema, de forma que la variable K de la ecuación (5) aumentara o disminuya su valor según la dinámica establecida por las ecuaciones (6)-(10). La trayectoria resultante de dicha variación de impedancia se suma con la trayectoria deseada, de forma que se obtiene la trayectoria comandada al manipulador.

Resultados

Se modeló en Solidworks un prototipo de brazo robótico que tiene 3 grados de libertad, figura 3. Se diseñó el brazo lo más simple posible, esto significa, omitiendo detalles como tornillos, tuercas, etc.

De igual forma se mantuvo la menor cantidad de relaciones de posición posibles, de forma que se eliminaran las que fueran redundantes y se buscó la manera de que una relación pudiera sustituir a otras dos relaciones.

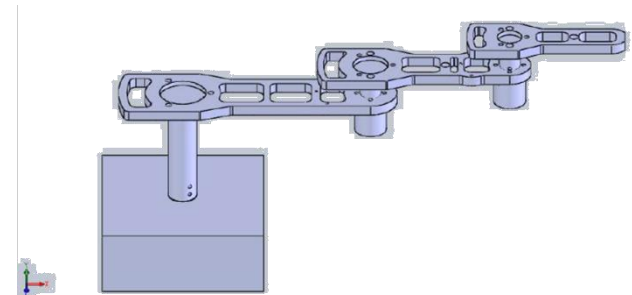


Figura 3 Robot manipulador empleado en las simulaciones.

Para realizar una simulación en SimMechanics de Matlab, sin el esquema de variación de impedancia, se programó una fuerza en las dos direcciones cartesianas $\{x,y\}$ con valor $F_x = 10\sin(t)$, $F_y = 10\sin(t)$ aplicadas a la ecuación (5). La figura 4 muestra la trayectoria generada cuando la fuerza se aplica y se considera impedancia constante. La figura 5 muestra el error cartesiano e_c en el mismo caso, es decir, sin considerar el modelo de toma de decisión para variar la impedancia. La trayectoria deseada es un círculo en el espacio cartesiano.

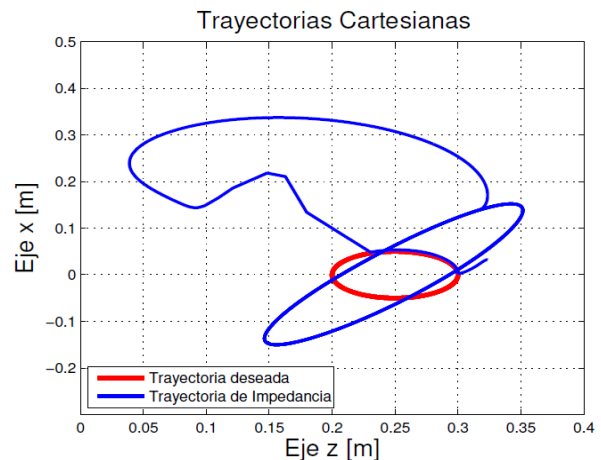


Figura 4 Trayectoria cartesiana generada con impedancia constante (Sin toma de decisión)

Para el modelo de toma de decision considerado la variable relevante es el número de toma de decisiones N . Por otra parte, el esquema de simulacion se implemento utilizando un metodo numerico que se ejecuta cada determinado tiempo de muestreo T , el cual representa otro parametro de relevancia para evaluar el desempeño del esquema de control propuesto. En el modelo de impedancia el parametro que se decidio variar fue la rigidez K , a traves de la variable de ΔK . El efecto del cambio en estas 3 variables se estudio considerando una tolerancia de error $s=0.005$ [m]. Se realizaron simulaciones numéricas para determinar los valores adecuados de las variables $N=40$, $T=0.055$ y $\Delta K = 100$.

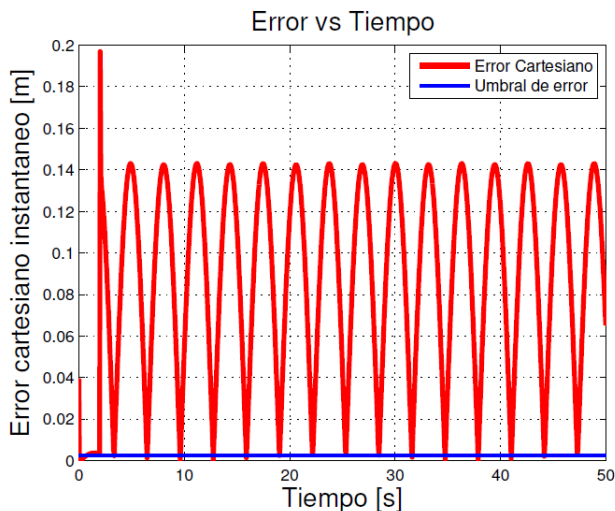


Figura 5 Error cartesiano (Sin toma de desicion)

La figura 6 muestra los resultados de seguimiento cartesiano (para la misma trayectoria circular deseada) de una simulación con la misma fuerza $F_x = 10\sin(t)$, $F_y = 10\sin(t)$ en el efector final del robot, y considerando la variación de impedancia con los parámetros mencionados arriba. Se observa un seguimiento mucho mejor que en el caso de impedancia constante (Sin toma de desición).

La figura 7 presenta el error cartesiano. Se aprecia una considerable disminución, consistente con el objetivo del esquema de control planteado en este trabajo.

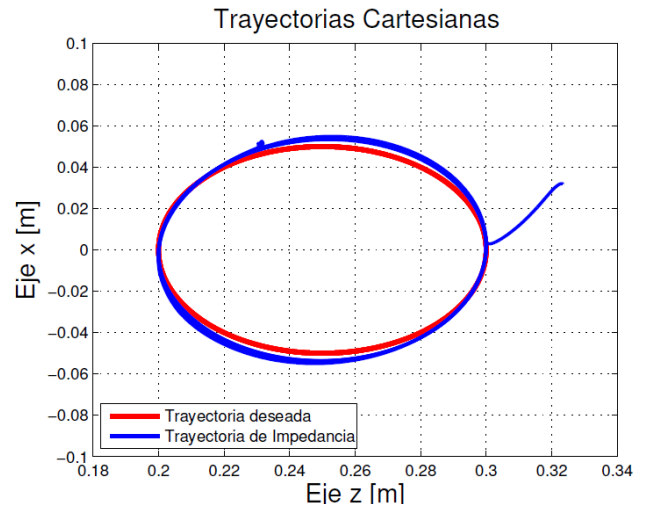


Figura 6 Trayectoria cartesiana generada con impedancia constante (Con toma de desicion)

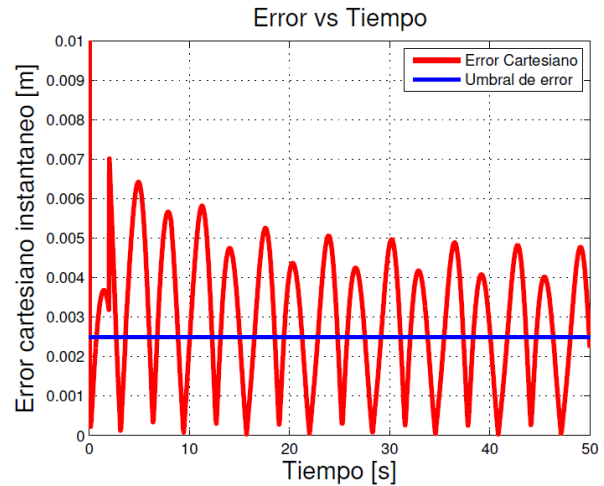


Figura 7 Error cartesiano (Con toma de desicion)

Las figuras 8 muestra la variación en la toma de desiciones y la recompensa, es decir, la forma en que la ecuaciones (6)-(10) establecen la dinámica de toma de desiciones. Se observa un comportamiento de tipo ciclo límite, como el que se describe en (Cao, 2008).

La figura 10 muestra la variación de la rigidez K del manipulador. Se observa un crecimiento sostenido, que es consistente con la necesidad de mantener el error por debajo del límite $s=0.005$ [m].

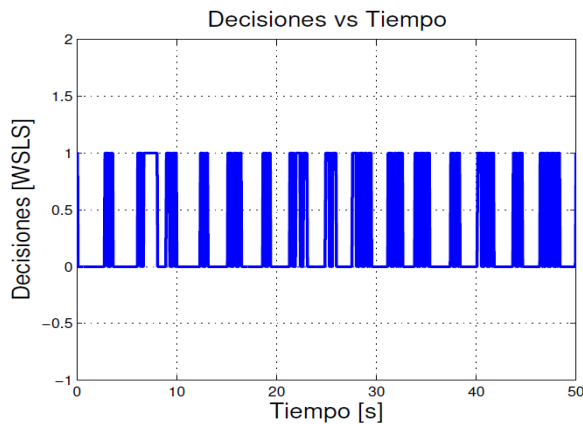


Figura 8 Decisiones tomadas en el experimento.

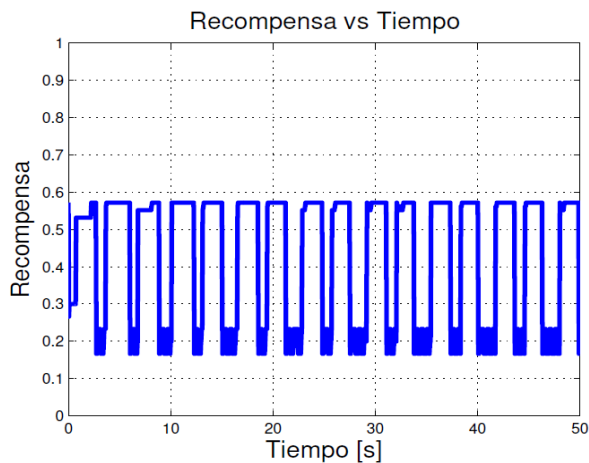


Figura 9 Variación de la función de recompensa.

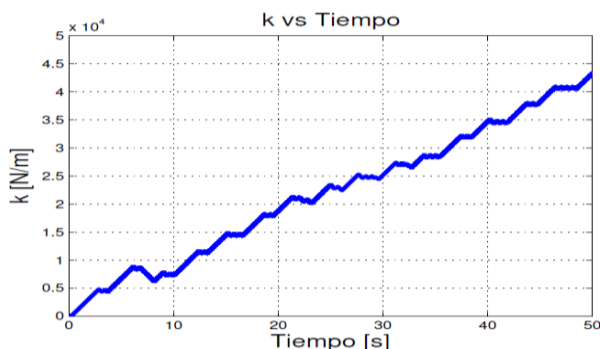


Figura 10 Variación de la rigidez K (impedancia) para el experimento con toma de decisiones.

Agradecimientos

El primer autor agradece el apoyo brindado por la SEP a través del proyecto PRODEP UV-PTC-798, con oficio DSA/103.5/15/7127.

Conclusiones

El modelo de variación de impedancia propuesto para el brazo robotico para rehabilitación es válido bajo las circunstancias de simulación y experimentación en las que se llevo a cabo. Por lo tanto, es posible variar la impedancia del sistema robotico utilizando como base un Modelo de Toma de Decision. El sistema robotico aumenta o disminuye la ganancia de forma que disminuye el error de seguimiento del mismo al existir una fuerza externa sobre su efector final. Existe todavía incertidumbre en el método empleado para la toma de decisión. Existen otros modelos de toma de decisión más complejos, incluso basados en métodos probabilísticos. Como trabajo futuro, es necesario investigar si dichos métodos o algún otro es más conveniente. Además es necesario averiguar las condiciones para las cuales la variación de la impedancia mantiene la estabilidad del sistema completo en lazo cerrado.

Referencias

Portillo-Velez R., Rodriguez-Angel A., and Cruz-Villar C. An optimization-based impedance approach for robot force regulation with prescribed force limits. *Mathematical Problems in Engineering* [online] Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/918301>, pages 1–13, 2015 [Accessed 1 Apr. 2016].

Ficuciello F., Villani L. and Siciliano B. Variable Impedance Control of Redundant Manipulators for Intuitive Human–Robot Physical Interaction. *IEEE Transactions on Robotics*. Vol. 31 (4), pp. 1-14, 2015.

Yalcin B., Akdoğan E., and Tufekci C. International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, Vol. 3 (1), pp. 27-31, 2014.

Khoshdel A. Akbarzadeh and H. Moeenfard. Variable impedance control for rehabilitation robot using interval type-2 fuzzy logic. International Journal of Robotics, Vol. 4 (3), pp. 46-54, 2015.

Erol D. Design of an Intelligente Control Architecture for Rehabilitation Robotics. PhD thesis, Vanderbilt University, 2007.

Loureiro R., Amirabollahian F., Topping M., Driessen B., and Harwin W. Upper limb robot mediated stroke therapyagente/s approach. Autonomous Robots, Vol. 15, 2003.

Erol D., Mallapragada V., Sarkar N., Uswatte G. and Taub E. A new control approach to robot assisted rehabilitation. Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005.

Cao M., Stewart A., and Leonard N. Integrating human and robot decision-making dynamics with feedback: Models and convergence analysis. Proceedings of the 47th IEEE Conference on Decision and Control., 2008.

Corredor J. Decision making model in a haptic assistance. Technical University of Munich, Internal Report, 2012.

Rafael Kelly and Victor Santibañez. Control de Movimiento de Robots Manipuladores. Pearson Educación, 2003.

Análisis comparativo de dos instalaciones fotovoltaicas de 3kWp con Fronius IG PLUS vs SMA Sunny Boy de la U.T.B.B

PAREDES, César*†, DIBENE, Luis y FLETES, Noé.

Recibido Abril 7, 2016; Aceptado Junio 13, 2016

Resumen

Al momento de dimensionar un sistema fotovoltaico la primera pregunta es ¿Qué marca?. En el presente artículo se analizó la generación de dos sistemas fotovoltaicos con paneles de silicio Policristalino marca Solartec modelo S60-PC250 interconectados a la red de Comisión Federal de Electricidad. Cada sistema consta de 12 paneles, 1 sistema con inversor Fronius modelo IG PLUS 3.0-1 más tarjeta de comunicación Datalogger-web, el segundo con inversor SMA modelo SunnyBoy 3000US más sistema de comunicación Webbox. durante 7 días se midió la generación de cada inversor bajo las mismas condiciones de instalación, 20° de inclinación, orientados al sur y los inversores instalados en el mismo sitio, además, se usó la misma tubería para el cableado, previo a los resultados el inversor Fronius entregaba 1.7710 % arriba del SMA, esto podrían tener impacto en cuanto más grande sea el sistema, las mediciones hechas con dos testigos marca HIOKI modelo PW3360 calibrados para hacer la medición de manera simultánea en cada sistema. En el periodo medido del 24 de mayo de 2016 11:50 hrs al 30 de mayo de 2016 9:50 hrs, el Fronius registró una generación de 88.5119 kWh vs SMA por 86.9443 kWh.

Fronius, SMA, UTBB, Fotovoltaica

Citación: PAREDES, César, DIBENE, Luis y FLETES, Noé. Proceso Análisis comparativo de dos instalaciones fotovoltaicas de 3kWp con Fronius IGPLUS vs SMA Sunny Boy de la U.T.B.B. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 31-37

Abstract

When sizing a photovoltaic system, the first question is: what brand is it? In this article, the generation of two photovoltaic systems with polycrystalline silicon panels is analyzed. The brand used is Solartec S60-PC250. The systems are interconnected with the network of Federal Electricity Commission. Each system consists of 12 panels, one system with an inverter Fronius IG PLUS. 3.0- 1 plus communication card Datalogger-web. The second inverter SMA model SunnyBoy 3000US more communication system Webbox. During seven days, both investors were measured (generacion) under the same installation conditions: 20 ° tilt facing south and installed on the same site. Besides, the same pipeline was used for wiring works. Before the results, the investor Fronius gave 1.7710% above the SMA, this could impact the larger system, measurements made with two witnesses brand HIOKI PW3360 model calibrated for measuring simultaneously in each system. In the period from May 24, 2016 at 11:50 hrs through May 30, 2016 at 9:50 pm, the Fronius recorded a generation of 88.5119 86.9443 kWh per kWh vs SMA.

Fronius, SMA, UTBB, Photovoltaic

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: cparedes@utbb.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La radiación solar que llega a la tierra es una de las fuentes de energías con más potencial y actualmente se tienen dos desventajas, no es una fuente constante ya que solo se tiene de forma variable durante el día y en segundo lugar los paneles solares comerciales no son muy eficientes. Además existen en el mercado una variedad de marcas y modelos tanto de paneles e inversores preparados para interconexión a la red. Estos inversores son los encargados de hacer el monitoreo y enlace entre la instalación solar (corriente directa) y la red eléctrica y sus cargas (corriente alterna). En las instalaciones interconectadas a la red, el inversor es un elemento de extrema importancia. No solo por realizar la conversión de la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos, sino también debe sincronizarse con la onda generada por la red de CFE.

Además de ello, el inversor cumple en una instalación conectada a red otra función primordial: garantizar que los paneles trabajen tan cerca del punto de máxima potencia como sea posible (MPP). Existen algunos inversores con varios seguidores del MPP, que permiten trabajar en dos o tres orientaciones diferentes en una misma instalación: se trata de una opción útil, por ejemplo, en una instalación a dos aguas.

Al haber una variedad de inversores para interconexión. En el mercado hay de las marcas de mejor calidad hasta los de baja calidad. Así como un panel debe ser lo suficiente eficiente para poder generar la mayor cantidad de energía a medida que llega, de igual forma el inversor debe ser lo suficiente eficiente para poder convertir toda esa energía en corriente alterna, con la menor pérdida y menor consumo del mismo.

Tanto el panel solar como los inversores cuentan con su curva de eficiencia, estas curvas (gráficas), muestran el comportamiento del equipo durante el día, la eficiencia de ambos equipos

Radiación solar

El sol es una esfera gaseosa, cuyos componentes son el hidrógeno, el helio, el carbono y otros elementos de menor importancia.

Tiene un diámetro de 1, 400,000 km y mientras su densidad en el núcleo es de 76,000 kg/m³, la media no alcanza a los 1,400 kg/m³, es decir, muy inferior a la de la tierra (5,500 kg/m³).

El sol es la perfecta central nuclear que conocemos y en su seno se desarrollan reacciones termonucleares (García & Lapetra, 2003)

Las radiaciones solares se clasifican en tres, la radiación *directa*, es aquella que llega directamente sin ser dispersadas, radiación *difusa*, es aquella procedente de toda bóveda celeste, excepto la que llega del sol, radiación de *albedo*, es aquella que procede del reflejo del suelo de parte de la radiación de las montañas, lagos, etc. De esas 3 radiaciones surge la cuarta, radiación *global*, siendo la suma de las 3 anteriores. (Enríquez Harper, 2014)

Radiación solar en Nuevo Vallarta, Nay

La UTBB cuentan con tres piranómetros midiendo las irradiancias (radiación) Global difusa G_d (w/m^2), Global inclinada G_{i20° (w/m^2) y Global horizontal G_h (w/m^2), con esas tres mediciones se calcula la energía que llega en un determinado periodo, a partir de unos métodos matemáticos se pueden interpretar las lecturas de los piranómetros.

$$G_d = \frac{\sum_{0\text{ hrs}}^{24\text{ hrs}} Avg}{6} = w/m^2 \tag{1}$$

$$HSH_d = \frac{G_d}{1000} = kW - h/m^2 \tag{2}$$

$$G_i = \frac{\sum_{0\text{ hrs}}^{24\text{ hrs}} Avg}{6} = w/m^2 \tag{3}$$

$$HSH_{i20^\circ} = \frac{G_i}{1000} = kW - h/m^2 \tag{4}$$

$$G_h = \frac{\sum_{0\text{ hrs}}^{24\text{ hrs}} Avg}{6} = w/m^2 \tag{5}$$

$$HSGH = \frac{G_h}{1000} = kW - h/m^2 \tag{6}$$

Los piranómetros registran lecturas correspondientes al promedio de 10 minutos.

Irradiancia: Es la intensidad de la luz solar, las unidades más comunes son watts por metro cuadrado (w/m^2). (García & Lapetra, 2003)

Insolación: Es la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo, las unidades más comunes son watt-hora por metro cuadrado ($w-h/m^2$), por lo general se expresa en horas. (García & Lapetra, 2003)

En la figura 1 se muestra de forma gráfica el concepto de insolación (Hsp, Hora solar pico) y la irradiancia, no se debe confundir con las horas de luz que se tiene en el día, $1\text{ kW-h/m}^2 = 1\text{ Hsp}$.

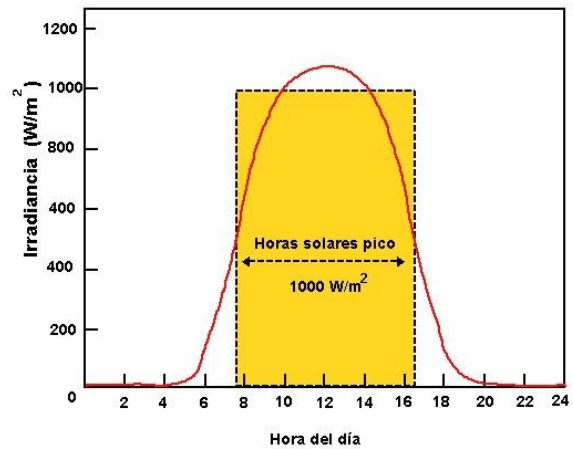


Figura 1 Horas solar pico, calculationsolar.com

En la tabla 1 se muestra el resumen de las horas solar pico (insolación solar) medidos por los piranómetros marca Kipp&Zonnen modelo CMP3 para las coordenadas 20.708599 -105.285427

Irradiancias e Insolación 24 al 30 de Mayo de 2016			
Fecha	Difusa (kW-h/m ²)	Horizontal (kW-h/m ²)	Inclinada 20° (kW-h/m ²)
24	2.7	7.3	6.5
25	2.9	7.3	6.5
26	3.2	5.7	5.2
27	2.9	7.3	6.4
28	3.0	7.3	6.5
29	2.9	7.1	6.3
30	3.1	7.1	6.3
31	3.0	6.9	6.2
Pro.	3.0	7.0	6.3

Tabla 1 Datos registrados.

Inversor de corriente para sistemas interconectados

Una instalación fotovoltaica interconectada esta compuesta a grandes rasgos por.

1. Panel solar fotovoltaico
2. Fusibles para DC de acción rápida
3. Inversor de corriente DC – AC
4. Interruptor para AC

5. Conductores eléctricos

Como se ha mencionado, los dos componentes principales son el panel solar y el inversor, ambos tienen distinta función, pero algo en común, aprovechar al máximo la energía solar. El panel solar debe ser capaz de generar la mayor cantidad de energía y el inversor debe ser capaz de convertir la mayor cantidad de energía sin pérdidas.

El inversor cambia el voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida en corriente alterna copiando las magnitudes y frecuencia de la compañía suministradora Comisión Federal de Electricidad (CFE).

En la UTBB se cuenta con dos instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red, cada instalación hasta cierto punto son iguales, la única diferencia es la marca y modelo de inversor, una cuenta con Fronius IG PLUS 3.0-1 y la segunda con SMA Sunny Boy 3000. Cada inversor cuenta con su propio datalogger de monitoreo y control.

El experimento consistió en registrar la información por los datalogger y además utilizar un segundo testigo para verificar la precisión de los datalogger, el testigo utilizado fue un analizador de redes eléctricas marca Hioki modelo PE3360 calibrado.

El periodo de registro fue del 24 de mayo de 2016 11:50 hrs al 30 de mayo de 2016 9:50 hrs, en la tabla 2 se muestran los registros del Webbox del inversor SMA y Datalogger-web de Fronius.

Fecha	SMA (kW-h)	Fronius (kW-h)
24 May. 2016	14.94	15.57
25 May. 2016	15.61	16.40
26 May. 2016	12.60	13.18
27 May. 2016	15.42	16.22
28 May. 2016	15.52	16.28
29 May. 2016	15.25	15.99
30 May. 2016	15.07	15.80
31 May. 2016	14.82	15.56
E-Total	119.23	125.04
Promedio	14.90	15.57

Tabla 2 Energía registrada por los datalogger

En el gráfico 1 se puede diferenciar la energía entregada por cada inversor, cabe mencionar que las lecturas graficadas son las registradas por los datalogger de cada inversor, Fronius con la Datalogger-web y SMA con la WebBox.

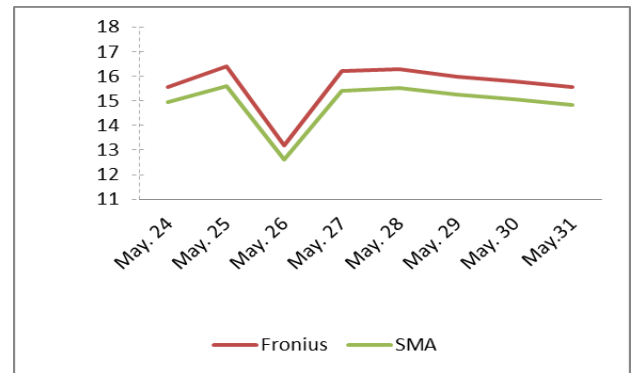


Gráfico 1 Valores registrados por los datalogger

En la tabla 3 se muestran los datos registrados por los analizadores de redes Hioki, al igual que los datalogger marcan una diferencia entre cada inversor. Cabe mencionar que el periodo de muestreo para los analizadores fue del 24 de Mayo 11:50 hrs al 30 de Mayo 9:50 hrs. Debido a los horarios de inicio y fin de registro el 24 y 30 de Mayo presentan una lectura baja.

Fecha	Hioki Fronius	Hioki SMA
24 Mayo	10.50	10.16
25 Mayo	16.01	15.68
26 Mayo	12.83	12.71
27 Mayo	15.84	15.52
28 Mayo	15.87	15.59
29 Mayo	15.59	15.31
30 Mayo	1.88	1.91
E-Total	88.52	86.88
Promedio	14.44	14.16

Tabla 3 Datos registrados por los analizadores de redes Hioki.

A partir de la tabla 4 se muestra el grafico 2 para distinguir las diferencias y también se discrimina el día 30 de mayo por presentar una lectura muy por debajo del promedio.

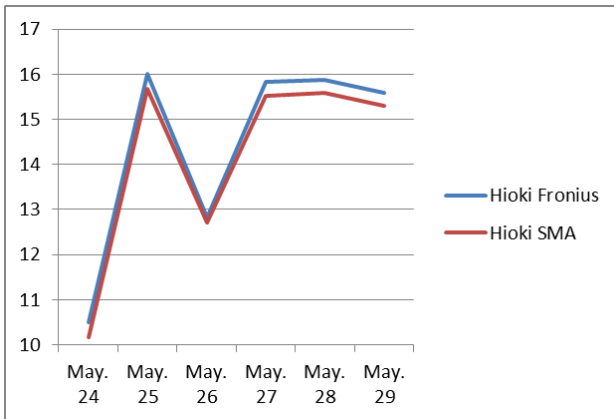


Grafico 2 Datos registrados por los analizadores Hioki PW3360

Análisis de resultados

De acuerdo a la radiación solar medida en la UTBB de **7.0 kW-h/m²** en las coordenadas mencionadas y comparados con los valores emitidos por la The National Aeronautics and Space Administration (NASA), (ver la tabla 7), en el mes de Mayo hay un promedio de **7.71 kW-h/m²**, con base a lo mencionado, se puede decir que los piranometros presentan una lectura confiable para manejo de datos. No obstante la radiación que nos interesa es la horizontal inclinada a 20° debido a la inclinación de los paneles solares de la UTBB.

Los datos registrados por los dataloger muestran que el inversor Fronius presenta una mejor eficiencia frente al inversor SMA, mínima, las condiciones físicas de los inversores fueron las mismas, paneles en el mismo sitio, misma tubería, trayectoria, calibre del conductor y temperatura ambiente del los inversores. Tomando en cuenta los valores registrados en la tabla 2 arrojan una diferencia promedio de 0.73 kW-h, a favor de Fronius en el periodo del 24 al 31 de mayo, la diferencia total de ese periodo fue de 5.18 kW-h, de igual forma con los analizadores de redes Fronius tuvo mejor generación pero con diferentes valores, SMA con 86.88 kW-h y un promedio día de 14.16, Fronius con 88.52 kW-h y un promedio día de 14.44 kW-h.

Otros parámetros registrados por los analizadores de redes muestran que el voltaje se comporta de manera estable, los niveles armónicos se encuentran dentro de los valores establecidos por el fabricante, en el periodo de muestreo del periodo ningún inversor llego a su máxima potencia, 3000 W

La probable respuesta sobre la ligera ventaja de generación de Fronius frente a SMA se deba a:

Los inversores Fronius cuentan con la tecnología “concepto Fronius MIXTM”, la cual consiste en manejar 3 módulos idénticos de potencia. Dependiendo del nivel de uso, los módulos de potencia pueden ya sea funcionar simultáneamente o sólo los que son requeridos para manejar la potencia de insolación presente a una hora en particular y que son llamados para ello. Esto optimiza la utilización de cada módulo, resultando en el máximo rendimiento. (Fronius)

Anexos

Parámetros eléctricos del inversor Fronius

Potencia recomendada	2500-3450 Wp
Gama de voltaje MPP	230-500 Vdc
Máximo voltaje (1000m ² /14°C en marcha sin carga)	600 Vdc
Voltaje de entrada nominal	390 Vdc
Corriente de entrada nominal	8.3 A
Máxima corriente de entrada	14 A
Máxima corriente de corto circuito	18 A
Potencia de salida (Pnom)	3000 W
Máxima potencia de salida	3000 W
Voltaje de red nominal	240 Vac
Tolerancia de red	+10/-12 %
Precisión de los límites de tensión	1% del valor nominal
Frecuencia de salida	60 Hz
Precisión de los límites de frecuencia	0.05 %
THD	<3%
Máximo rendimiento	96.2%
Consumo por la noche	<1 W
Consumo durante funcionamiento	8 W
Temperatura ambiente admisible	-25 a 55 °C

Tabla 4 Ficha técnica de inversor Fronius, Fronius

Parámetros eléctricos del inversor SMA

Máxima potencia recomendada	3200 W
Máximo voltaje	500 Vdc
Voltaje nominal	250 Vdc
Máxima corriente de entrada	17 A
Potencia nominal de salida	3000
Voltaje de red nominal	240 Vac
Máxima corriente de salida	13 A
THD	<4%
Máxima eficiencia	96.5%
Consumo por la noche	0.1 W
Temperatura ambiente admisible	-25 a 45 °C

Tabla 5 Ficha técnica de inversor SMA

Mes	Radiación solar horizontal (kW-h/m ²)
Enero	4.67
Febrero	5.69
Marzo	6.84
Abril	7.42
Mayo	7.71
Junio	7.09
Julio	6.40
Agosto	6.01
Septiembre	5.35
Octubre	5.46
Noviembre	5.02
Diciembre	4.36
Promedio	6.00

Tabla 6 Radiación medida por la NASA Lat. 20 Lon. - 105

Agradecimiento

La presente publicación se logró gracias a los intereses de todos los involucrados, desde la compra de todos los equipos instalados y todo el equipamiento utilizado para los muestreos, sin olvidar los alumnos responsables de las instalaciones fotovoltaicas de la universidad que fueron como parte de su aprendizaje y bajo la modalidad 30% teórico 70% práctico.

Los autores agradecen en especial a la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas por otorgar todas las facilidades en el desarrollo del presente artículo y todos los que están en desarrollo, especialmente a los alumnos que muestran interés y apoyo en el desarrollo de trabajos como este.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos en el periodo de registro se muestra como cada inversor es eficiente, en los 7 días de muestreo Fronius presentó mejor generación, finalmente se debería hacer un muestreo anual, con la intención de definir la grafica de comportamiento de cada inversor (marca), para la zona de Nuevo Vallarta y sus alrededores donde se tienen climas con humedad superiores al 80% y temperaturas superiores de 28°C.

Referencias

Atmospheric Science Data Center. (03 de Septiembre de 2016). *NASA Surface meteorology and Solar Energy*. Recuperado el 03 de Septiembre de 2016, de NASA Langley: <https://eosweb.larc.nasa.gov>

Comisión Federal de Electricidad. (2005). *Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica*. México.

Enríquez Harper, G. (2014). *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos*. México: Limusa.

Fronius. (s.f.). *Fronius México*. Obtenido de <http://www.fronius.com.mx>

Garcia, J. J., & Lapetra, B. (2003). *Cálculo de la energía solar*. Madrid: Bellisco Ediciones.

Manual del equipo Hioki PW3360.

SMA Solar Technology. (s.f.). Obtenido de <http://www.sma-america.com/>

Std IEEE. (2014). *519-2014 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*.

Diseño de Circuitos Computacionales en Células Vivas usando Biología Sintética

MONDRAGÓN-LOZANO, Francisco*†, RAMÍREZ-CAMACHO, Jessica, VÁZQUEZ-HUERTA, María Elena y GONZALEZ-GUTIERREZ, Fidel.

Recibido Abril 18, 2016; Aceptado Junio 23, 2016

Resumen

Este trabajo se enfoca en el diseño de circuitos codificados de ADN y los métodos computacionales que contribuyen a su correcta funcionalidad, como lo son el algoritmo de Monte Carlo y el algoritmo de búsqueda por anchura (breadth-first). El diseño de los circuitos se implementó con un framework desarrollado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT), específicamente para la creación de circuitos codificados de ADN, llamado *Cello* (abreviación para Cellular Logic). La optimización del circuito y la reducción del margen de error en la construcción de éstos, conlleva la búsqueda de la mejor opción y los algoritmos mencionados con anterioridad son utilizados por *Cello* para ese propósito. Al final, se logra un acercamiento al lenguaje *Cello*, con la implementación de circuitos básicos para conocer los alcances del framework y la revisión de los métodos computacionales que incrementan las capacidades de esta herramienta de biología sintética.

Circuitos Codificados de ADN, Biología Sintética, Programación Celular

Abstract

This research focuses on the design of DNA encoded circuits and the computational methods which contribute to its functionality, like Monte Carlo algorithm and breadth-first search algorithm. The design of the circuits was implemented using a framework developed by the Massachusetts Institute of Technology (MIT) specifically for the creation of those DNA encoded circuits, called *Cello* (stands for Cellular Logic). The optimization of the circuit and a reduction in the margin of error in building these, lead the search for the best option and the algorithms above are used by *Cello* for this reason. At the end, an approach to the *Cello* language was achieved, with the implementation of basic circuits to know the scope of the framework and a review of the computational methods that enhance the capacities of this synthetic biology tool.

DNA Encoded Circuits, Synthetic Biology, Cellular Programming

Citación: MONDRAGÓN-LOZANO, Francisco, RAMÍREZ-CAMACHO, Jessica, VÁZQUEZ-HUERTA, María Elena y GONZALEZ-GUTIERREZ, Fidel. Diseño de Circuitos Computacionales en Células Vivas usando Biología Sintética. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 38-45

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: 013012832@upq.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El ADN es la huella única de cada organismo viviente, en él se encuentran todas las características que diferencian a ser vivo de otros. En la actualidad, es posible manipular las cadenas genéticas del ADN mediante técnicas de ingeniería, computación, biología, nanotecnología entre otras disciplinas. Dichas técnicas son estudiadas por una ciencia conocida como biología sintética, la cual busca mejorar el diseño y/o la implementación de sistemas biológicos que existen o no en la naturaleza.

El objetivo de la biología sintética puede ser alcanzado si se logran cambios en el funcionamiento celular. Quiere decir que una célula, al modificar su código genético, produciría nuevas reacciones ante diferentes estímulos ambientales, químicos, etc. Los circuitos de ADN son un medio para generar transformaciones importantes en la genética de una célula; éstos no son más que operaciones lógicas y teóricamente se comportan como los circuitos electrónicos, recibiendo señales, guiándolas a través de compuertas y generando una respuesta. Pero el diseño de los circuitos es laborioso y lleva mucho tiempo, gracias a las investigaciones del MIT en este tema se desarrolló un framework llamado *Cello* que maneja un lenguaje de programación para células vivas y facilita la construcción de los circuitos de ADN.

Cello está basado en Verilog, un lenguaje de descripción de hardware que funciona como modelador de sistemas electrónicos. Ocupa más herramientas como el lenguaje *Eugene* que ayuda con las restricciones de las secuencias de ADN para el circuito diseñado.

Los algoritmos de búsqueda por anchura, Monte Carlo y ascenso de colina (hill climbing) son las herramientas de búsqueda computacional que permiten el diseño del mejor circuito tomando en cuenta los parámetros iniciales dados y ya vienen programados dentro de la lógica de alto nivel de *Cello*. Entender este nuevo lenguaje permite realizar el diseño de circuitos de ADN y proporcionar una interpretación de su posible funcionamiento al aplicarlo a una célula viva sin necesidad de hacer pruebas dentro de un laboratorio. También da pauta para contribuir con diseños de circuitos óptimos y generar o descubrir nuevas funciones en determinadas células.

Al ser un tema amplio y con grandes oportunidades de investigación, entenderlo puede resultar una tarea poco sencilla, el estado del arte del tópico facilitará tener una mejor perspectiva para abordar el campo de la biología sintética, a través de una visión sobre el avance que ha tenido a lo largo del tiempo en el diseño de circuitos genéticos. Por medio de la metodología y su desarrollo se verá el trayecto recorrido para alcanzar los resultados presentados y las posibles líneas de acción futuras con respecto al tema.

Estado del Arte

En 1998, Leonard M. Adleman demostró la computación de ADN resolviendo el problema del camino hamiltoniano usando la expresión genética. En su trabajo explica que con el acercamiento que tuvo a los trabajos de Watson y Crick planteó un problema típico en computación, resolver un camino hamiltoniano donde el grafo a evaluar tenía únicamente cuatro nodos que representaban las ciudades de Atlanta, Boston, Chicago y Detroit.

La diferencia fue que a cada ciudad se le asignó una cadena genética al igual que a la transición entre cada nodo. Sus pruebas de laboratorio fueron satisfactorias, pues las moléculas que ocupó lograron codificar el camino deseado y al final determinó que la computación de ADN tenía un futuro muy prometedor.

En el 2003 Erick Winfree publica en The Bridge su revisión sobre un algoritmo bioquímico basado en autoensamblaje de cristales heterogéneos. Winfree explora la idea del autoensamblaje molecular basado en estructuras de ADN por medio de la teoría conocida como Tiling Theory la cual habla del acomodo perfecto de figuras geométricas básicas en un plano infinito. En su trabajo también menciona que el autoensamblaje puede ser usado para colocar correctamente componentes moleculares (compuertas lógicas como AND, OR y NOT) que van unidas químicamente a alguna teja/losa de ADN.

Investigadores del J. Craig Venter Institute lograron en 2010 la construcción de la primera célula bacteriana sintética autoreplicable llamada *Mycoplasma mycoides*. Este avance demostró que el genoma puede ser diseñado por medios artificiales, como lo es una computadora. Actualmente siguen los avances en computación de ADN; así como el diseño y programación de circuitos genéticos. El caso del proyecto del MIT liderado por Christopher Voigt salió a finales de marzo del presente año, en donde el lenguaje de programación celular *Cello* mejora el diseño de circuitos de ADN.

Diseño de Circuitos en Cello

Cello (Cellular Logic) es un framework que describe un lenguaje de programación para diseñar circuitos computacionales en células vivas. Su entrada es una especificación lógica de alto nivel escrita en Verilog.

Ese código es transformado a una tabla de verdad para producir un diagrama con los tipos de compuertas genéticamente disponibles para implementarla. Las compuertas son asignadas de forma inteligente usando diversos algoritmos de búsqueda basados en la heurística más alta. Por último el lenguaje *Eugene* arroja una o varias secuencias genéticas para el circuito diseñado.

(<https://github.com/CIDARLAB/cello/blob/master/README.md>).

Para iniciar con la implementación de algún diseño se ocupa el repositorio del siguiente link:
<https://github.com/CIDARLAB/cello> u ocupar la aplicación en línea de *Cello*:
<http://cellocad.org/>

La entrada en Verilog puede ser escrita de cuatro maneras distintas: por casos, por asignación, estructurada o una combinación de la anteriores. Los siguientes códigos muestran la implementación de una operación lógica. En la figura 1, la entrada Verilog es por caso donde se asigna una tabla de verdad AND. La inicialización en el módulo A se hace con una variable de tipo output y dos de tipo input. Quiere decir que tendremos dos genes de entrada y sólo esperaremos un gen de salida.

```
module A(output out1, input in1,
in2);
always@(in1,in2)
begin
case({in1,in2})
2'b00: {out1} = 1'b0;
2'b01: {out1} = 1'b0;
2'b10: {out1} = 1'b0;
2'b11: {out1} = 1'b1;
endcase
end
endmodule
```

Figura 1 Entrada Verilog por caso donde se asigna una tabla de verdad AND.

La figura 2 muestra el módulo B, donde la implementación se realiza por asignación, la variable wire actúa como conector para alcanzar la última operación OR y que dará paso a la salida.

```
module B(output out1, input a,
b);
  wire w0;
  assign w0 = a & ~b;
  assign out1 = w0 | (a & c);
endmodule
```

Figura 2 Entrada Verilog definida por asignación.

Por último, el ejemplo de la figura 3, el módulo C está de forma estructurada, se definió de manera literal las operaciones que las entradas ejecutarán.

```
module C(output out1, input in1,
in2);
  wire w1,w2,w3;
  not (w1, in1);
  not (w2, in2);
  nor (out1, w2, w1);
endmodule
```

Figura 3 Entrada Verilog estructurada.

En los circuitos de ADN las entradas son promotores; es decir, regiones del ADN que dictan el punto en el cual la ARN polimerasa comienza a transcribir un gen. Estos son representados (como cualquier otro gen) por una cadena de caracteres de determinada longitud. Cada carácter representa las bases nitrogenadas adenina (A), guanina (G), timina (T) y citosina (C). Las salidas del circuito esperadas suelen ser reguladores que generan respuestas a través de estímulos del entorno.

Algoritmos de Búsqueda

La lógica detrás del framework *Cello* tiene programados algoritmos de búsqueda clásicos que aseguran un diseño de circuito con las mejores características para que arroje la salida esperada. Este trabajo abarcará dos, el algoritmo de búsqueda por anchura (breadth-first) y el algoritmo de Monte Carlo ocupado en conjunto con un algoritmo de recocido simulado (simulated annealing). Los algoritmos de búsqueda trabajan por medio de la heurística más alta, esto quiere decir que por cada rama de decisión que se genere en la estructura de datos conocida como árbol, se le irá asignando una ponderación y seleccionan el siguiente paso tomando el mayor puntaje. A diferencia de Monte Carlo que es un método estadístico de optimización.

En *Cello*, el algoritmo de breadth-first se ejecuta de la siguiente manera: La búsqueda inicia la evaluación por las compuertas más próximas a las entradas y asigna ponderaciones una por una, donde la señal dispareja es rechazada. Cada vez que se ha aceptado una asignación del circuito, es decir que el camino que tomará el algoritmo es el más adecuado, vuelve a realizar el proceso. Así hasta que todas las compuertas han sido visitadas y la suma de las heurísticas más altas es elegida, se dibujan las compuertas y los resultados que corresponden a esa selección.

Simulated Annealing inicia con una asignación aleatoria, se seleccionando una compuerta al azar, las siguientes selecciones de compuertas son de manera también aleatoria. Monte Carlo revisa las probabilidades de todas las iteraciones hechas para determinar si alguna de las compuertas rechazadas puede llegar a ser una opción óptima y la toma en cuenta.

Después de diseñar un circuito que permita emular el comportamiento celular, el siguiente paso es crear una cadena de ADN, aunque ensamblar cadenas de ADN largas puede resultar un proceso complejo de realizar al momento de implementarlas, pero para ello existen métodos que pueden simplificar este proceso como Golden-Gate, esto ayuda a que el proceso de ensamblaje tenga menos probabilidad de fallas, cabe mencionar que el récord de ensamblado fue gracias a la recombinación homológica en la que las secuencias de nucleótidos se intercambian entre dos moléculas similares o idénticas de ADN y así evita que la cadena de ADN sea larga y por ende, las probabilidades de fallas al momento de la implementación serán menores.

Resultados

Cello arroja los resultados del circuito procesado de diversas formas. Primero, se genera un UCF (por sus siglas en inglés, User Constrain File) que son los elementos que puede procesar el lenguaje hasta ese punto. Los genes disponibles para usar inmediatamente en la aplicación (tablas 1 y 2) pertenecen a cepas de *Escherichia Coli*, un organismo que cuenta con 880,000 pares de bases de ADN.

Gen	Secuencia ADN
pTac	AACGATCGTTGGCTGTGTTGACAATTAATCATCGGC TCGTATAATGTGTGGAATTGTGAGCGCTCACAAAT
pTet	TACTCCACCCTGGCTTTTTCCCTATCAGTGATAGA GATTGACATCCCTATCAGTGATAGAGATAATGAGCA C
SrpR	CTGAAGCGCTCAACGGGTGTGCTTCCCCTTCTGATG AGTCCCGTGAGGACGAAAGCGCTCTACAAATAATTT TGTTTAAGAGTCTATGGACTATGTTTTCACAGAGGA GGTACCAGGATGGCACGTAAAACCGCAGCAGAAGC AGAAGAAACCCGTCAGCGTATTATTGATGCAGCACT GGAAGTTTTTGTGACAGGGTGTAGTGATGCAAC CCTGGATCAGATTGCACGTAAAGCCGGTGTACCCG TGGTGCAGTTTATTGGCATTTAATGGTAAACTGGA AGTTCTGCAGGCAGTTCTGGCAAGCCGTCAGCATCC GCTGGAACCTGGATTTACACCGATCTGGGTATTGA ACGTAGCTGGGAAGCAGTTGTTGTTGCAATGCTGGA TGCAGTTTCATAGTCCGAGCAAAACAGTTTAGCGA AATTCTGATTATCAGGGTCTGGATGAAAGCGGTCT GATTCATAATCGTATGGTTCAGGCAAGCGATCGTTT TCTGCAGTATATTATCAGGTTCTGCGTCATGCAGTT ACCCAGGGTGAAGCTGCGGATTAATCTGGATCTGCAG ACCAGCATTGGTGTTTTTAAAGGCTGATTACCGGT CTGCTGTATGAAGGTCTGCGTAGCAAAGATCAGCAG GCACAGATTATCAAAGTTGCACTGGGTAGCTTTTGG GCACTGCTGCGTGAACCGCTCGTTTTCTGCTGTGT GAAGAAGCACAGATTAACAGGTGAAATCCTTCGA ATAATTCAGCCAAAAAATTAAGACCGCCGGTCTTG TCCACTACCTGCGAGTAATGCGGTGGACAGGATCGG CGTTTTCTTTCTTCTCAATCTATGATTGGTCCA GATTCGTTACCAATTGACAGTGTAGCTCAGTCTAGG TATATACATACATGCTTGTGTTGTTGTAAC

Tabla 1 Codificación del ADN de los genes usados para el primer circuito.

Se probaron diversos casos. El primero fue una entrada Verilog por caso, la tabla de verdad fue una AND y los genes de entrada fueron promotores *pTac* que es un híbrido de otros dos promotores de la *Escherichia Coli* mucho más eficiente y *pTet* que juega un papel importante en la activación del gen.

Para la salida, esperamos sea un regulador *SrpR*, funcionalidad que ayuda con la creación de una enzima que a su vez se involucra con la producción de una molécula llamada *tetrahydrobiopterin*.

La búsqueda del mejor circuito se completó en 94467 milisegundos y de las 50 trayectorias realizadas en total, tomando en cuenta todas las iteraciones, el mejor resultado de asignación fue de 328.2888.

El circuito construido, junto con las heurísticas más altas por compuerta se aprecian en las imágenes 3 y 4. Gracias al diagrama Eugene que genera *Cello* (imágenes 1 y 4), gráficamente se identifica cómo interactúan los componentes dentro del circuito.



Figura 4 Representación Eugene del circuito generado. Muestra su expresión genética de forma gráfica.

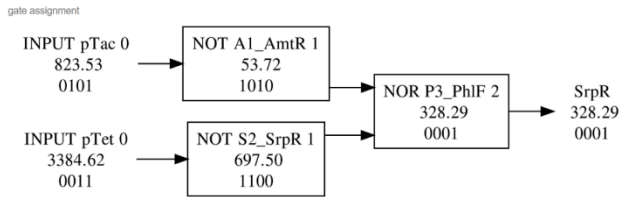


Figura 5 Asignación de compuertas. Observamos los valores que los algoritmos de búsqueda seleccionaron como los óptimos para cada compuerta lógica.

Para el circuito número dos se ocuparon los promotores *pLuxStar* y *pBAD*, esperando una respuesta de fluorescencia roja (*RFP*) como se ve en la tabla 2. El tiempo de ejecución del circuito fue de 94990 milisegundos y la asignación con el mejor puntaje se hizo de 184.3090 (imagen 3).

Gen	Secuencia ADN
pLuxStar	ATAGCTTCTTACCGGACCTGTAGGATCGT ACAGGTTTACGCAAGAAAATGGTTTGTT ACTTTCGAATAAA
pBAD	ACTTTTCATACTCCC GCCATTTCAGAGAAG AAACCAATTGTCCATATTGCATCAGACA TTGCCGTCACCTGCGTCTTTTACTGGCTCT TCTCGTAACCAAACCGGTAACCCCGCTT ATTAAAAGCATCTGTAAACAAAGCGGGA CCAAAAGCCATGACAAAAACGCGTAACAA AAGTGTCTATAATCACGGCAGAAAAGTC CACATTGATTATTTGCACGGCGTCACT TTGCTATGCCATAGCATTTTTATCCATAA GATTAGCGGATCCTACCTGACGCTTTTTA TCGCAACTCTCTACTGTTTCTCCATACCC GTTTTTTTGGGCTAGC
RFP	CTGAAGTGGTCGTGATCTGAAACTCGAT CACCTGATGAGCTCAAGGCAGAGCGAAA CCACCTCTACAAATAATTTGTTTAATAC TAGAGTCACACAGGAAAGTACTAGATGG CTTCTCCGAAGACGTTATCAAAGAGTTC ATGCGTTTCAAAGTTCGTATGGAAGGTT CGTTAACGGTCACGAGTTCGAAATCGAA GGTGAAGGTGAAGGTCGTCCGTACGAAG GTACCCAGACCCGCTAAACTGAAAGTTAC CAAAGGTGGTCCGCTGCCGTTTCGTTGG GACATCCTGTCCCCGCGAGTTCAGTACG GTTCCAAAGCTTACGTTAAACACCCGGC TGACATCCCGGACTACCTGAAACTGTCCT TCCCGGAAGTTTCAAATGGGAACGTGT TATGAACTTCGAAGACGGTGGTGTGTT ACCGTTACCCAGGACTCCTCCCTGCAAG ACGGTGAGTTCATCTACAAAGTTAAACT GCGTGGTACCAACTTCCCGTCCGACGGT CCGTTATGCAGAAAAAACCATGGGTT GGGAAGCTTCCACCGAACGTATGTACCC GGAAGACGGTGCTCTGAAAGGTGAAATC AAAATGCGTCTGAAACTGAAAGACGGTG GTCACACTACGACGCTGAAAGTTAAACCAC CTACATGGCTAAAAAACCGGTTTCAGCTG CCGGTGCTTACAAAACCGACATCAAAC TGGACATCACTCCCAACGAAGACTA CACCATCGTTGAACAGTACGAACGTGCT GAAGGTCGTCCTCCACCGGTGCTTAAT AACAGATAAAAAAATCCTTAGCTTTCG CTAAGGATGATTCT

Tabla 2 Codificación del ADN de los genes usados para el segundo circuito.

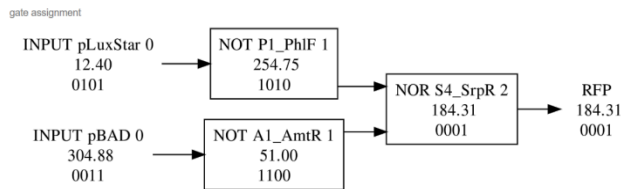


Figura 6 Asignación de compuertas. Observamos los valores que los algoritmos de búsqueda seleccionaron como los óptimos para cada compuerta lógica.



Figura 7 Representación Eugene del circuito generado. Muestra su expresión genética de forma gráfica.

Anexos

Promotor: Región del ADN que determina el punto en el que el ARN polimerasa comienza a transcribir un gen.

ARN Polimerasa: Enzima encargada de la transcripción del ADN.

Transcripción: Proceso en el que la información genética del ADN pasa por el ARN mensajero. Este es el primer paso para la síntesis de proteínas.

Reguladores: Secuencias contiguas a un gen que mantienen bajo control la tasa de transcripción del mismo.

Agradecimiento

Agradecemos el apoyo y financiamiento de la Universidad Politécnica de Querétaro.

Conclusiones

A través del desarrollo de las herramientas computacionales programadas como parte de la lógica de *Cello*, es posible diseñar circuitos de ADN con una reducción de tiempo significativa así como predecir su comportamiento.

El comportamiento del circuito puede llegar a ser lento por las muchas iteraciones que tiene que realizar para su desarrollo, los algoritmos de búsqueda como Monte Carlo y breathd-first impactan de manera significativa al momento de realizar este proceso de una manera más eficiente, optimizando recursos y tiempo de investigación. Estos algoritmos traen beneficios a la biología sintética ya que los algoritmos de búsqueda se encargan de hallar la mejor ruta y además de optimizar recursos puede dar como resultado una cadena de ADN más corta que esto a su vez trae beneficios al momento de implementarla en una célula viva. Por todo lo anterior basta decir que estos algoritmos de búsqueda actúan de manera positiva al momento de realizar las iteraciones en la búsqueda del circuito funcional. Las ciencias computacionales nos permiten realizar estos avances en la reingeniería de la vida, se pretende como trabajo futuro continuar con la investigación de estos circuitos de ADN con ayuda de estos algoritmos de búsqueda además de implementarlos de manera que su reacción hacia la célula de algún organismo sea benéfica cuando esta esté dañada, con todos los avances tecnológicos que crecen exponencialmente, esta implementación se puede ver de una perspectiva cada vez más cercana a la realidad, obteniendo resultados que se puedan adaptar a las necesidades de la humanidad y darle un cambio a la vida.

Referencias

- Adleman, Leonard M. "Computing With DNA". Scientific American (1998).
- Winfrey, Erick. "DNA Computing by Self-Assembly". The Bridge (2003).
- Nielsen Alee, Der Bryan, Shin Jonghyeon, Vaidyanathan Prashant, Paranalov Banya, Strychalski Elizabeth, Ross David, Densmore Douglas, Voigt Christopher. "Genetic Circuit Design Automation". Science (2016).

Russell, Stuart. "Artificial Intelligence: A Modern Approach". 3rd Edition. (p. 75-75, 111-114).

"Cello". CIDAR at Boston University. N.p., 2016. Web. 1 Sept. 2016.

Hidrólisis ácida de *citrus sinensis* para la obtención de azúcares fermentables

MEJÍA-TREJO, Ana*†, BRAVO-LUGO, Jaqueline, VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji.

Instituto Tecnológico Superior de Huichapan. División de Ingeniería en Energías Renovables. Huichapan México

Recibido Abril 15, 2016; Aceptado Junio 20, 2016

Resumen

La generación de biocombustibles a través de residuos agroindustriales es de interés derivado de la necesidad de la sustitución de los combustibles tradicionales y por la búsqueda de fuentes de energía más baratas. En este trabajo se realizó la evaluación de la hidrólisis de *Citrus sinensis* (cáscara de naranja) a diferentes concentraciones de H_2SO_4 . Se estableció como variable de salida la generación de azúcares totales. Se utilizaron 5 gr de cáscara de naranja seca en 100 mL de ácido con distintas concentraciones: 0.1 N, 0.3 N y 0.5 N, se mantuvo a 30 °C y 150 rpm. Se determinó el contenido de azúcares totales en muestras tomadas cada 12, 24, 48 y 72 h de reacción. Los azúcares liberados fueron cuantificados, se encontró como máximo rendimiento de azúcares fermentables de 8 g/L. Posterior al tratamiento, se establecieron nuevas condiciones de hidrólisis con H_2SO_4 0.3N, 30 °C y 150 rpm; se tomaron muestras cada 2 horas para la determinación de azúcares totales, de lo cual se generaron en los ensayos 5g/L de azúcares. Las concentraciones de aceite y la presencia de pectina son factores que reducen la velocidad de hidrólisis, sin embargo se puede fermentar directamente el azúcar obtenido de la hidrólisis sin procesos previos de pretratamiento. Se generó el 16 % de hidrólisis. Con la concentración de azúcar obtenida a partir de la hidrólisis ácida, se realizó una simulación de fermentación utilizando *S. Cerevisiae* ATCC9763 y *S. Cerevisiae* ITD00196, en función de la biomasa, sustrato y el producto calculados mediante las ecuaciones logística, Luedeking – Piret y Pirt para determinar la productividad.

Cascara-naranja, pretratamiento, desechos-agroindustriales

Abstract

The generation of bio-fuels through agroindustrial waste is interesting derived of the need of the substitution of traditional fuels and by the search of sources of energy more cheap. This work focus on the evaluation of the hydrolysis of *Citrus sinensis* (orange peel) at different concentrations of H_2SO_4 . The generation of total sugars was established as output variable. It was used 5 gr of orange peel in 100 mL of acid with different concentrations: 0.1 N, 0.3 N and 0.5 N, maintained at 30°C and 150 rpm. It was determined the content of total sugars in samples, which were taken each 12, 24, 48 and 72 h of reaction. The sugars released were quantified by the phenol-sulfuric acid modified method. The results shows that the maximum yield of fermentable sugars was 8g/L. From the previous results, it conditions of hydrolysis with H_2SO_4 0.3N, 30 °C and 150 rpm; samples were taken every 2 hours for the determination of total sugars, which were generated in test of 5g/L of sugar. The concentrations of oil and the presence of pectin are factors that reduce the speed of hydrolysis, however directly ferment the sugar obtained from the hydrolysis without previous pretreatment processes. It generated the 16% of hydrolysis.

With the concentration of sugar obtained was carry out a simulation of fermentation using *S. Cerevisiae* ATCC9763 and *S. Cerevisiae* ITD00196, in function of biomass, substrate and product by logistic, Luedeking – Piret and Pirt equations for determined the productivity.

Orange, pre treatment, agro-industrial waste

Citación: MEJÍA-TREJO, Ana, BRAVO-LUGO, Jaqueline, VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji. Hidrólisis ácida de *citrus sinensis* para la obtención de azúcares fermentables. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 46-50

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: djimenez@iteshu.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente el incremento de la demanda de energía a nivel mundial y el creciente desarrollo tecnológico ha generado el surgimiento de nuevas fuentes de energía. Los biocombustibles, son una de las alternativas de producción de energía debido a que se obtienen a partir de residuos de origen agroindustrial.

Los diferentes residuos agroindustriales disponibles, son una fuente importante de celulosa y por tanto se pueden considerar como materias primas para la obtención de alcohol combustible luego de ser convertidos en azúcares por medio de procesos de hidrólisis química o enzimática (Fonseca *et al.*, 2006).

Las cáscaras de frutas, consideradas biomasa desvalorizada son una fuente abundante de biomasa lignocelulósica. Los residuos de cáscara de naranja, tiene una estructura compleja que consta de polímeros de carbohidratos como la celulosa (35-50%) y la hemicelulosa (15-25%), además de un polímero fenólico; la lignina (20-25%)(Alvear *et al.*, 2009).

A partir de la celulosa y la hemicelulosa, se pueden obtener unidades monoméricas de glucosa, lo que le confiere un gran potencial a la biomasa ligno-celulósica como materia prima para la producción de glucosa que puede ser aprovechada en diversos usos industriales (Cortes *et al.*, 2013).

Se han estudiado los procesos de hidrólisis para acceder a los azúcares fermentables. Las condiciones de hidrólisis que favorecen la disponibilidad de azúcares fermentables mediante el cambio de propiedades de la lignocelulosa son la temperatura, la agitación, la concentración del sustrato y el pH.

Cada uno de estos factores debe ser evaluado debido a que determinan el porcentaje de azúcar disponible en el proceso fermentativo y beneficiarán el rendimiento neto de etanol (Jiménez *et al.*, 2011).

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la hidrólisis ácida de la cáscara de naranja para generar azúcares fermentables.

Materiales y métodos

Se utilizó cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) previamente deshidratada la cual fue llevado a tratamiento de reducción de tamaño de 1 mm.

La hidrólisis ácida se llevó a cabo en matraces Erlenmeyer de 250 mL, los cuales contenían 5 g de *Citrus sinensis* y 100 mL de H_2SO_4 en concentración de 0.1, 0.3, 0.5 N. Los matraces se mantuvieron a una temperatura de 30 °C y 150 rpm en un agitador orbital (IKA KS 4000 i control). Después de 24 h se cuantificaron los azúcares totales. Todos los experimentos se llevaron por triplicado.

Los azúcares liberados durante el proceso de hidrólisis fueron cuantificados como carbohidratos totales mediante la técnica modificada de fenol-sulfúrico, la cual consiste en adicionar en un tubo de ensayo: 1 mL de muestra (libre de sólidos suspendidos), seguido de 600 μ L de solución de fenol al 5 % (p/v) y 3.6 mL de H_2SO_4 concentrado (>98 %), homogeneizar y enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos. Transcurrido el tiempo se leyeron las muestras a 490 nm empleando celdas de cuarzo en un espectrómetro UV (Jenway, 7305 spectrophotometer). Se preparó la curva estándar con sacarosa, ($R^2= 0.9903$) para la cuantificación de azúcares en función de la absorbancia obtenida en las lecturas realizadas por el espectrómetro.

Modelado

Se utilizaron las ecuaciones logística, Pirt y Luedeking-Piret para determinar las fermentaciones utilizando dos cepas en la producción de etanol (Jiménez *et al*, 2014). Los datos cinéticos reportados por Jiménez *et al* (2014) fueron: i) *S. cerevisiae* ITD00196, $\mu_{max}=0.5160$ 1/horas, $X_{max} = 2.70$ g/L, $Y_{x/s}= 0.075$, $m= 0.40$. ii) *S. cerevisiae* ATCC9763, $\mu_{max}=0.3794$ 1/horas, $X_{max} = 5.31$ g/L, $Y_{x/s}= 0.074$, $m= 0.095$.

Resultados y discusión

Los resultados de la hidrólisis de cáscara de naranja se observan en los gráficos 1, 2 y 3.

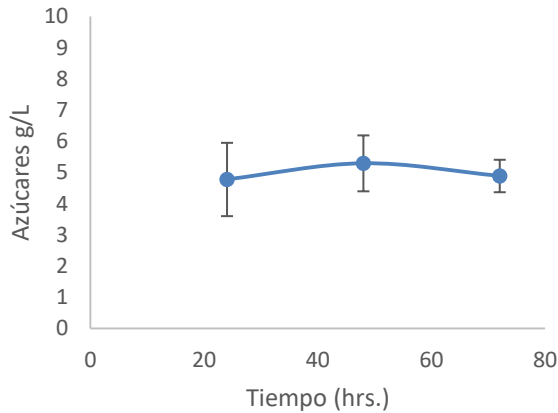


Gráfico 1 Obtención de azúcares con 0.1 N de H₂SO₄

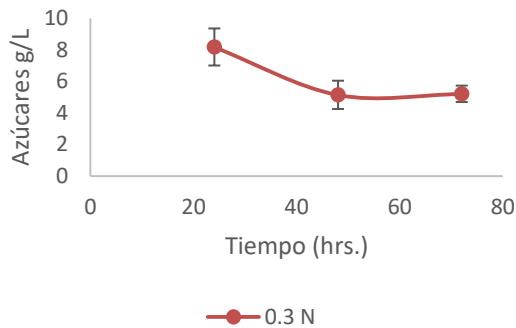


Gráfico 2 Obtención de azúcares con 0.3 N de H₂SO₄

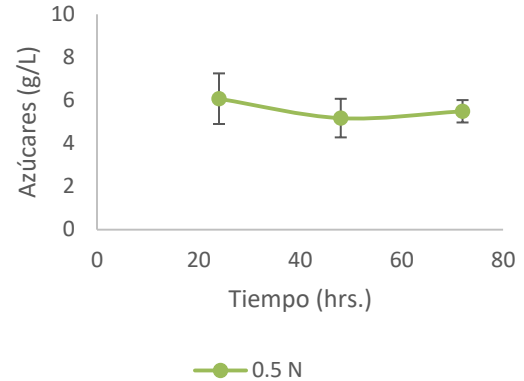


Gráfico 3 Obtención de azúcares a 0.5 N de H₂SO₄

Se puede observar en las figuras 1, 2 y 3 que la mayor producción de azúcares, es después de 24 h de hidrólisis para las concentraciones estudiadas. El tiempo de reacción del ácido al interior de la matriz del sustrato ocasiona el rompimiento de la estructura y la liberación de azúcares por acción de una baja selectividad del catalizador.

Se han propuesto modelos para describir la hidrólisis, un modelo citado es el que consideran las siguientes etapas durante el pretratamiento: i) la difusión del agua dentro de las partículas de la madera, ii) la reacción de hidrólisis sobre la hemicelulosa, iii) la difusión de los azúcares solubles (productos de la reacción) hacia fuera de las partículas de madera en medio acuoso. Los mecanismos citados pueden estar relacionados en los tratamientos de la hidrólisis de cáscara de naranja (Hosseini *et al.*, 2009)

De la Figura 2, correspondiente a la concentración .3 N de H₂SO₄ fue la que mostró la mayor concentración de azúcares (8.17 g/L) seguido de una concentración 0.5 N de H₂SO₄ con 6.07 g/L de azúcares totales. Así mismo al aumentar el tiempo de hidrólisis la concentración de azúcares disminuye, lo cual a sido reportado por Alvear *et al.* (2009).

Las condiciones de hidrólisis evaluadas buscan obtener azúcares bajo las condiciones de hidrólisis de menor concentración. Se puede establecer que la concentración de 0.3 N es suficiente para generar azúcares, sin embargo se requiere un pretratamiento previo para mejorar las condiciones hidrolíticas en la matriz del sustrato y verificar mediante micrografía el ataque del ácido hacia la matriz porosa.

En el gráfico 4 se muestran los resultados de la medición cada 2 horas de los azúcares totales.

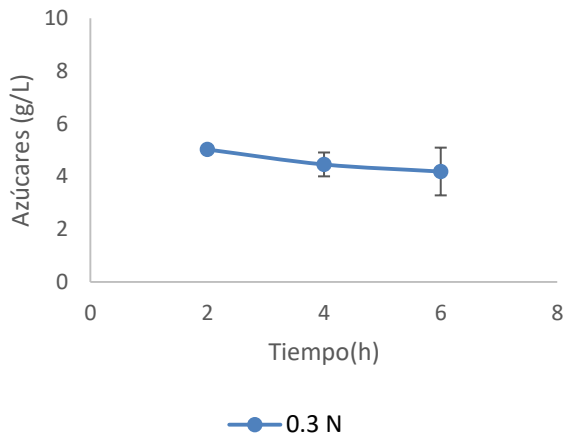


Gráfico 4 Obtención de azúcares 0.3 N con tiempo de muestreo cada 2 horas.

La obtención de azúcares entre 2 y 6 horas no fue vidente, sin embargo se debe considerar que en la medida en la que se incrementa el tiempo de reacción se favorece la hidrólisis del ácido hacia la matriz del sustrato.

La generación de azúcares fermentables da opción de obtener etanol a través de la fermentación alcohólica. Se utilizaron 8 g/L para simular la fermentación alcohólica utilizando dos tipos de cepas y condiciones de fermentación reportadas por Jiménez et al, 2014.

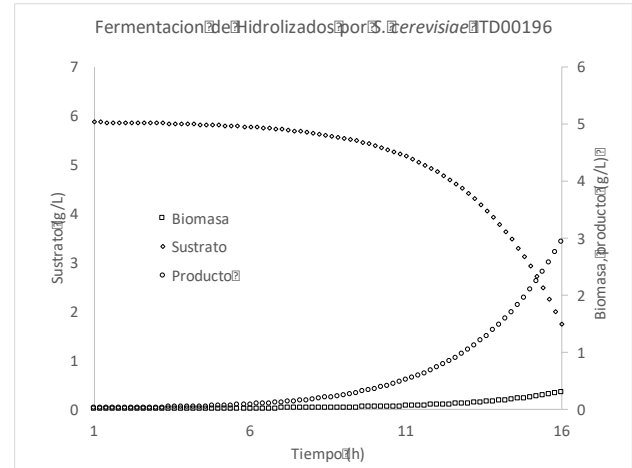


Gráfico 5 Simulación de la fermentación de hidrolizados ITD00196.

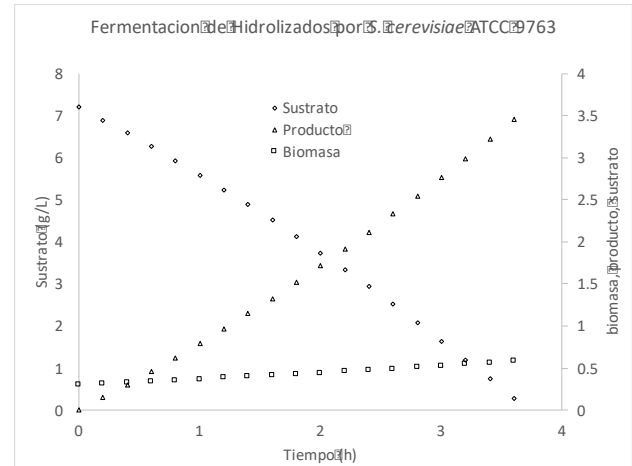


Gráfico 6 Simulación de la fermentación de hidrolizados ATCC 9763.

Las simulaciones se realizaron con dos cepas, se consideró una cepa de origen del mezcal y se comparó con la del ITD00196. Las capacidades fermentativas se ven evidenciadas en su origen y sus condiciones de producción. La cepa del ITD 00196 tiene condiciones de crecimiento ácido, lo que le da ventajas en la fermentación.

Los modelos nos permiten predecir las condiciones de tiempo de reacción y consumo de sustratos, se pueden explorar otras condiciones a través del modelo.

Conclusiones

Se determinó que con el incremento en los tiempos de reacción la cantidad de azúcares liberados presenta una degradación, además de que a concentraciones por debajo de 0.3 N de ácido sulfúrico se tiene hidrólisis, lo que beneficia el proceso de fermentación.

Los modelos ayudaron a obtener perfiles cinéticos sin necesidad de realizar más experimentos en laboratorio.

Agradecimiento

Se agradece a CONACYT por otorgar becas a los alumnos a través del proyecto de Programa de fomento de las vocaciones científicas y tecnológicas en niños y jóvenes mexicanos, proyecto C-291045.33/2016.

Al proyecto CONACYT Ciencia básica proyecto 223444.

Referencias

Fonseca Santillana, E. B., Oviedo, A. M., Vargas, I. J. (2006). Hidrólisis ácida de susstratos residuales agroindustriales colombianos. *Umbral científico*. 8, 5-11.

Alvear, M. R., Castillo, C. R., Henao, D. L., Marimon, W., Tejada, C. N., Tejada, L. P., Villabona, A. (2009) Estudio de la hidrólisis ácida de cáscaras de naranja *Citrus sinensis* para la obtención de etanol. *Memorias del IV Simposio de Química Aplicada-SIQUIA*. 1, 1-8.

Cortes, W. G., Ibla, J. F., Calderon, L. M., Herrera, A. F. (2013). Cuantificación de azúcares reductoras en las cáscara de naranja y banano. *Journal Technology*. 12, 72-76.

Jiménez Islas D., Abreu Corona A., López y López V. E., Téllez jurado A., Gracida Rodríguez J. N. (2011). Obtención de azúcares fermentables mediante hidrólisis ácida de *Beta vulgaris* L. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 28, 151-158.

Hosseini S. A., Shah N. (2009). Multiscale modeling of biomass pretreatment for biofuels production. *Chem. Eng. Res. Des.* 87, 1251-1260.

Soto O., Favela E., Saucedo G. (2002). Modeling of growth, lactate consumption, and volatile fatty acid production by *Megasphaera elsdenii* cultivated in minimal and complex media. *Biotechnol.* 18, 193-200.

Jiménez I., Páez Lerma, Oscar Soto N., Gracida J. (2014). Modelling of ethanol production from red beet juice by *Saccharomyces cerevisiae* under thermal and acid stress conditions. *Food Technol Biotechnol.* 52, 93-100.

Automatización en la deposición de películas delgadas de nanomateriales para la posible utilización en celdas solares

REYNOSO-SOTO, Edgar*†, ALONSO-PÉREZ, Jorge, TRUJILLO-NAVARRETE, Balter y CAZAREZ-CASTRO, Nohé.

Recibido Abril 5, 2016; Aceptado Junio 2, 2016

Resumen

En este trabajo se reporta la implementación de un robot cartesiano con una arquitectura de LinuxCNC para la fabricación automatizada de películas delgadas de dióxido de titanio (TiO_2) para el desarrollo de celdas solares; dispositivos empleados para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes alternativas de energía. Este robot cartesiano con la arquitectura LinuxCNC permite preparar películas delgadas de espesor controlado; ya que actualmente a nivel laboratorio la preparación se realiza de manera manual por métodos poco reproducibles como es el método de bisturí (doctor blade). Este tipo de dispositivos permitirán un avance significativo en las tecnologías de fuentes alternas de energía y su investigación debido a que da acceso a maquinarias que actualmente en el mercado son muy costosas.

En el presente trabajo, se muestra que las películas delgadas de TiO_2 obtenidas por spray coating a partir de una solución de etilcelulosa- TiO_2 disuelta en etanol, se depositan con éxito en sustratos de vidrio, con un espesor entre 0.8 y 1.2 μm .

LinuxCNC, robot cartesiano, películas delgadas, nanomateriales

Abstract

This paper describes the implementation of a cartesian robot with LinuxCNC architecture for the automatization of titanium dioxide (TiO_2) thin films development for solar cells fabrication; this types of devices are employed in the generation of electricity from alternative energy sources. The Cartesian robot with LinuxCNC architecture allows prepare thin films with controlled thickness; since currently at laboratory level thin film preparation is done manually with low reproducibility method such doctor blade method. Cartesian robot significant technological advance in alternative source energy investigation. In this work is reported the fabrication of TiO_2 thin film obtained by spray coating employing ethylcellulose- TiO_2 ethanolic solution, this was coating successfully on glass, with a thickness of 0.8 to 1.2 μm .

LinuxCNC, Cartesian robot, thin films, nanomaterials

Citación: REYNOSO-SOTO, Edgar, ALONSO-PÉREZ, Jorge, TRUJILLO-NAVARRETE, Balter y CAZAREZ-CASTRO, Nohé. Automatización en la deposición de películas delgadas de nanomateriales para la posible utilización en celdas solares. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 51-59

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: edgar.alonso@tectijuana.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Uno de los principales objetivos en la manufactura de celdas solares es el desarrollar de técnicas sencillas, de bajo costo y escalables para su producción. Los métodos en solución hasta el momento han resultado ser los mejores candidatos para llevar a cabo estos objetivos. Estos principalmente enfocados en la deposición de películas delgadas de óxidos metálicos, como el dióxido de titanio (TiO_2); dichas películas son fabricadas por diversos métodos, como la deposición por centrifugación (spin-coating), sin embargo, no es un método adecuado ya que tiene una gran cantidad de pérdida de material y está limitado con respecto a las dimensiones del sustrato [2]. Para superar estos problemas, varios grupos de investigación han explorado diversas técnicas de deposición tal como el método de bisturí (doctor blade) [3], serigrafía [4], Impresión por inyección [5,6] y deposición por rocío [7].

La técnica de deposición por rocío, tiene la ventaja de superar la limitante respecto a las dimensiones del sustrato, en base a esto sobresale como un sustituto prometedor para superar las limitaciones de los procesos convencionales de deposición por centrifugación. Aunado a esto, el método de deposición por rocío presenta varias ventajas, tales como el permitir manejar una gran área de deposición, la cual puede ser de manera uniforme, compatible con el proceso rollo-a-rollo [7,8]. Además, el método de deposición por rocío es capaz de manejar un amplio espectro de fluidos con diversas características que ofrece la posibilidad de ajustar el sistema para depositar prácticamente casi cualquier tipo de material y obtener las propiedades deseadas de la película [9].

Para llevar a cabo este proyecto de una manera económica no solo basta la manipulación de los materiales químicos, sino también la maquinaria utilizada en los procesos, por lo cual, con la asistencia de un robot cartesiano basado en una arquitectura de software tipo LinuxCNC desarrollado en el laboratorio, se tendrían los siguientes rendimientos: optimización de los tiempos de deposición y control de la calidad de las películas delgadas fabricadas, presentando una buena uniformidad y reproducibilidad para diversas áreas de investigación y aplicación

El presente trabajo consiste en desarrollar y evaluar una plataforma basada en computadoras personales, actuadores mecánicos de bajo costo, componentes electrónicos sencillos y un programa de control modular con el propósito de conseguir las características de apertura, reconfigurabilidad y bajo costo deseados para la automatización y escalamiento en la deposición de películas delgadas de nanomateriales como es el TiO_2 .

Se investigó el uso de aerografía para la técnica de deposición por rocío en la fabricación de películas delgada de TiO_2 comercial sobre sustratos de vidrio.

La organización de este documento es el siguiente: En esta sección se ha dado una introducción al lector del problema a resolver y los conceptos principales; en la sección II se presentarán las actividades experimentales llevadas a cabo y los materiales utilizados: la preparación de la tinta de TiO_2 para la preparación del ánodo, las características del robot cartesiano y el software LinuxCNC y la deposición por rocío.; la sección III presenta las pruebas y resultados obtenidos, y finalmente en la sección IV se presentan las conclusiones.

En este trabajo, se reporta la fabricación de películas delgadas de TiO_2 , preparadas empleando un robot carteciano para la deposición por rocío con arquitectura LinuxCNC automatizado y las películas elaboradas fueron caracterizadas por microscopía electrónica de barrido.

Actividad experimental

Materiales y preparación de la tinta de TiO_2 .

Dióxido de titanio (IV) (TiO_2 , 99%), etilcelulosa (48.0-49.5% (w/w) base etoxy, 5-15 mPa·s), etil celulosa (48.0-49.5% (w/w) base etoxy, 30-70 mPa·s), terpineol ($\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$, 95%), ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, 99%), etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, 98%), todos los reactivos fueron adquiridos de Sigma-aldrich y fueron usados sin alguna purificación previa.

La preparación de las tintas se realizó mediante una modificación de la metodología reportada por en Seigo Ito y colaboradores [1]:

A continuación se presentan la metodología empleada en la preparación de la tinta:

1. Mezclar la muestra de TiO_2 (0.6 g) y ácido acético (0.1 mL) y moler en un mortero (5 min).
2. Agregar H_2O (0.1 mL) y moler en un mortero (1 min) x 5 veces.
3. Agregar etanol (0.1 ml) y moler en un mortero (1 min) x 15 veces.
4. Agregar etanol (0.25 ml) y moler en un mortero (1 min) x 6 veces.
5. Transferir la pasta de TiO_2 a un vaso de precipitado con 10 mL de etanol

6. Sonificar en ultrasonido [(2 segundos + 2 segundos de descanso)*30 veces] y agitar con un agitador magnético (1 min)
7. Añadir el Terpineol (2.14 mL).
8. Sonificar en ultrasonido [(2 segundos + 2 segundos de descanso)*30 veces] y agitar con un agitador magnético (1 min)
9. Añadir la etilcelulosa (750 mg en 37.5 mL de solución de etanol)
10. Sonificar en ultrasonido [(2 segundos + 2 segundos de descanso)*30 veces] y agitar con un agitador magnético (1 min)
11. Evaporar el etanol para darle una viscosidad adecuada a la tinta.

Preparación del sustrato de vidrio

En la Figura 1, se muestra el empleo de una cortadora modelo MT-4, para cortar los sustratos de vidrio con una medida de 1.4 cm x 2.5 cm, una vez cortados se lavaron con agua, etanol y se secaron.



Figura 1 Proceso de cortado de los vidrios.

Una vez cortados los vidrios se lavaron en un vaso de precipitado con una solución 1% de jabón y dejándolos en ultrasonido por 10 min.

Después se realizó un segundo lavado con agua desionizada (H_2O) en ultrasonido por 10 min. Luego se realizó un tercer lavado con etanol (EtOH) en ultrasonido por 10 min. El último lavado se realizó en una solución de peróxido de hidrógeno al 1% expuesto a luz ultravioleta en un reactor por 10 min (esto para eliminar toda materia orgánica que podría estar presente en el vidrio), enjuagando con H_2O y EtOH.

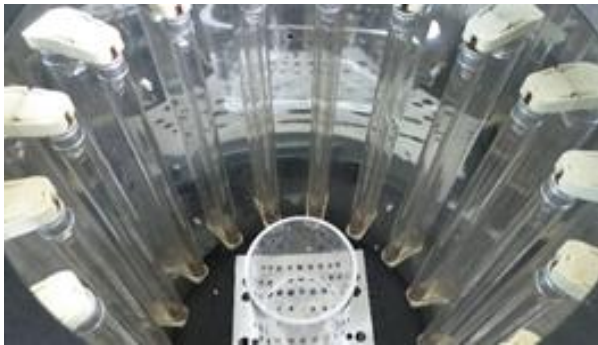


Figura 2 Reactor fotoquímico para la exposición de radiación UV y peróxido de hidrógeno para el tratamiento de los vidrios.

Posteriormente se trataron los vidrio con una solución acuosa de tetracloruro de titanio ($TiCl_4$) 40 mM y se colocaron con 100 mL de esta solución a una temperatura de $60^\circ C$ por 40 minutos a baño maría y se le dio un tratamiento térmico a $450^\circ C$ por 60 minutos.

Sobre el vidrio lavado y tratado con $TiCl_4$ se depositó la tinta de TiO_2 comercial haciendo el uso de la técnica de deposición por rocío, únicamente se cubrió la mitad del vidrio para que esto facilitara observar los límites de la película delgada con el microscopio electrónico de barrido y medir el espesor de la película delgada de TiO_2 depositada después de un tratamiento termico.

Una vez depositada la tinta de TiO_2 se trato termicamente $450^\circ C$ por 60 minutos, para obtener la película delgada de TiO_2 como se muestra en la figura 3.

Después se le dio otro tratamiento con la solución de $TiCl_4$, para garantizar la adherencia de la película de TiO_2 . Para sinterizarse a una temperatura de $500^\circ C$ durante 30 minutos.

LinuxCNC

LinuxCNC es un software libre con código fuente abierto, el cual proporciona: una interfaz gráfica (se puede elegir entre varias interfaces diferentes), un intérprete para código G (lenguaje de programación de maquina RS-274), un planeador de movimientos en tiempo real con análisis de instrucciones, seguido de operaciones de electrónica de máquina de bajo nivel como sensores y controladores para motores [11].

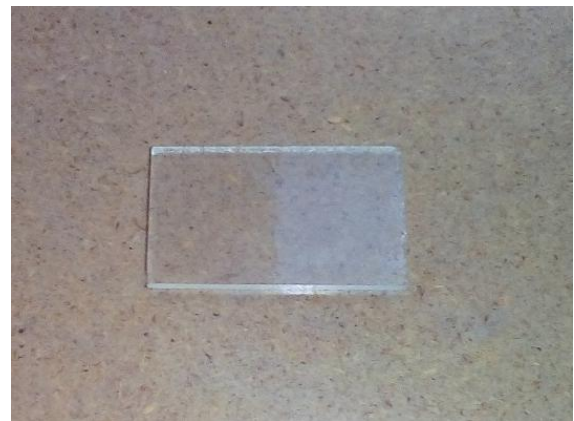


Figura 3 Fotografía de la película de delgada de TiO_2 realizada por el método de deposición por rocío con la maquina fabricada en este proyecto para la automatización.

Las funciones o comandos G se utilizan para indicar instrucciones a una maquina CNC sobre la geometría y condiciones de trabajo, como por ejemplo, la forma de las trayectorias, sistemas de referencia absoluta y relativa, unidades de trabajo, velocidad de traslación, entre otras [12].

Deposición por Rocío

Los métodos de deposición por rocío, han sido empleados para producir películas delgadas, probablemente es la técnica más versátil de las diferentes técnicas de deposición y tiene la posibilidad de adaptarse con relativa facilidad a sistemas de automatización de alta velocidad [14]. La deposición por rocío se realiza en varias etapas entre ellas esta; la atomización de la solución precursora sobre la superficie a depositar, evaporación del vehículo o solvente, difusión del precursor sobre la superficie, secado y adhesión del material [13].

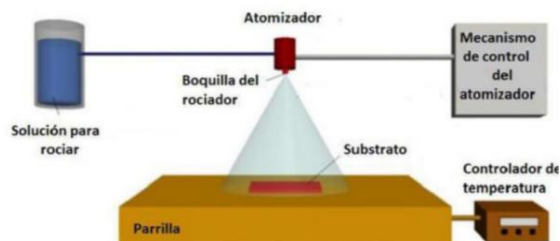


Figura 4 Componentes esenciales de un sistema de deposición por rocío.

Un diagrama esquemático del aparato de deposición por rocío se muestra en la Fig. 4. El sistema de deposición por rocío contiene tres boquillas, una conectada a una entrada para el aire comprimido y las otras para la solución de transporte. La boquilla central esta conectada a una bomba de inyección empleada para acarrear la solución de TiO_2 y las boquillas periféricas se conectan al aire comprimido que actua como gas acarreador. En la Fig. 5 se puede apreciar el prototipo desarrollado de sistema de deposición por rocío.

La etapa de traslación de los eje X, Y y Z es controlada por una computadora que tiene el sistema LinuxCNC.

Las condiciones de la deposición por rocío fueron optimizados para reducir la rugosidad de la superficie. Esto se llevo a cabo mediante la variación del flujo de inyección de la solución, el flujo de gas acarreador, la distancia entre la boquilla-sustrato y la velocidad de deposición.

El espesor de las películas delgadas fabricadas se determino por microscopio electronica de barrido (SEM) empleando un microscopio marca Tescan, modelo VEGA 3 SB.

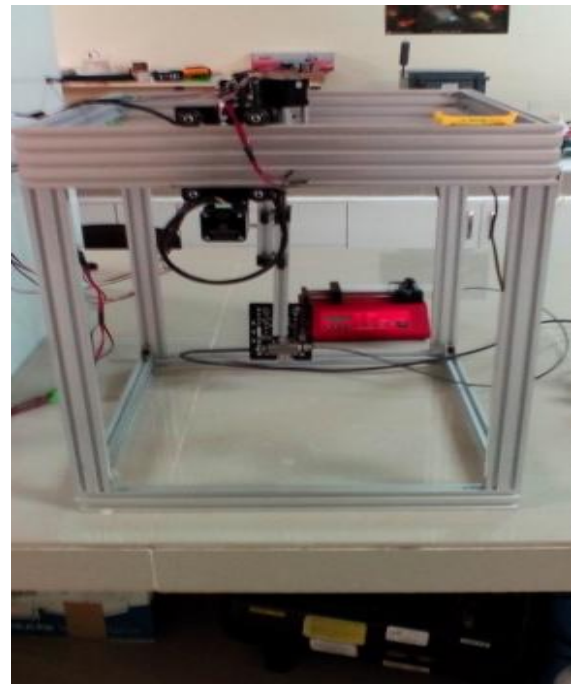


Figura 5 Prototipo del sistema para la deposición por rocío.

Resultados y discusión

Se llevo a cabo la deposición de películas delgadas de TiO_2 con espesores entre 0.8 a 1.2 μm sobre vidrio y vidrio conductor para desarrollar celdas solares.

En base a reportes previos, se reportan diversos parámetros para el proceso de fabricación de películas delgadas via deposición por rocío: una distancia entre 10 a 18 cm de distancia entre la muestra y la boquilla de aerógrafo empleada, el flujo de inyección fue de 10 a 2 mL/min y se maneja la presión (10 a 30 psi); se menciona que estas variables son esenciales para controlar la morfología óptima, el espesor y la rugosidad. Los cuales se tomaron hasta cierto punto como referencia para realizar nuestra investigación. [15]

Los parámetros empleados en este trabajo para el proceso de deposición por rocío para las películas delgadas de TiO_2 fueron: una distancia de 15 cm entre la muestra y la boquilla de aerógrafo, un flujo de inyección de 10 mL/min y una presión de 15 psi; variando el número de veces que se deposita en el sustrato (1-5). Por cada capa depositada de hacia una pausa de 3 minutos para permitir que cada capa estuviera seca antes de depositar la siguiente. Los experimentos que consistieron en 1, 2, 3 y 5 capas. Se realizaron pruebas con de distintas velocidades de desplazamiento de los ejes con respecto a la deposición, velocidades de 34 in/min generaban películas muy rugosas, en cambio a velocidades de 205 in/min esto permitio generar películas delgadas uniformes con un espesor final de aproximadamente 1 μm .

Las películas delgadas de TiO_2 fabricadas fueron caracterizadas mediante microscopia electrónica de barrido.

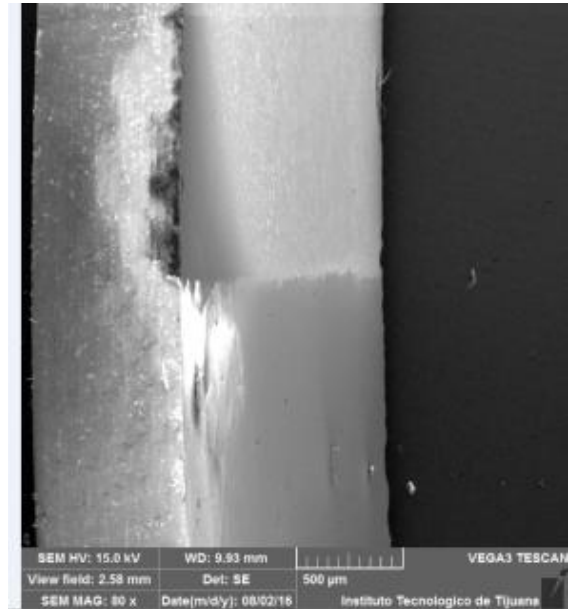


Figura 6 Imagen del microscopio SEM en donde se ve el sustrato de vidrio puesto de manera vertical, en la parte izquierda se observa la parte lateral del vidrio.

En la figuras 6 se aprecia la micrografía de la película de TiO_2 depositada en la mitad del sustrato de vidrio, con una deposición de cinco capas; donde se puede apreciar una deposición homogeneria en la parte superior correspondiente al deposito de TiO_2 . El contraste es debido a que la superficie de TiO_2 es menos conductora que la del FTO.

En la figura 7 se muestra una micrografía SEM, de la superficie de la película de TiO_2 depositada por el sistema diseñado; donde se aprecia una película delgada con pequeños granos en su superficie.



Figura 7 Imagen del microscopio SEM en la que se muestra una imagen transversal del sustrato con dióxido de titanio, la parte inferior oscura es la parte transversal del vidrio.

En las figuras 8 y 9, se muestran las micrografías a mayor magnificación de las películas de TiO_2 con deposición de 2 capas.

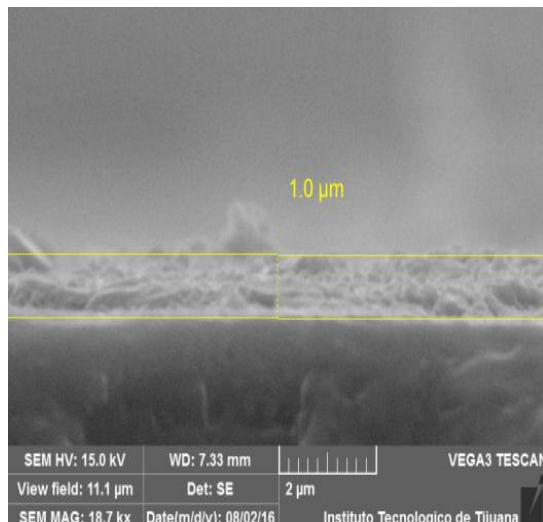


Figura 8 Micrografía SEM a mayor magnificación de la película delgada de 2 capas.

En la figura 8 podemos apreciar que al depositar 2 capas de TiO_2 , se obtiene una película delgada con un espesor de $1 \mu\text{m}$. Al incrementar las magnificaciones de la imagen (figura 9) se puede apreciar cierta rugosidad y definir con mayor claridad que el espesor de la película fue de $1.2 \mu\text{m}$, donde además se aprecia claramente la rugosidad de la película siendo esto un aspecto importantísimo para la aplicación en celdas solares que permite una mejor adsorción del colorante

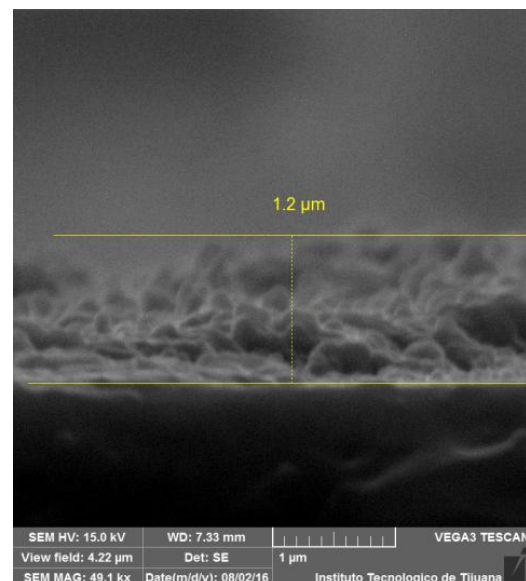


Figura 9 Imagen del microscopio SEM a mayor resolución en donde se observa rugosidad en la superficie, lo cual puede ser beneficioso dependiendo de la aplicación que se le está dando a la película delgada de 2 capas.

Conclusiones

En el presente trabajo, se reporta el desarrollo de un dispositivo de control y automatización para la fabricación de películas delgadas utilizando una técnica de deposición por rocío en un entorno convencional se demostró mediante el control de distintos parámetros.

Una cuidadosa optimización de la velocidad de desplazamiento y las condiciones de deposición se llevo a cabo la fabricación de películas delgadas de TiO₂ con espesor de 1.2 µm y que fueron caracterizadas por microscopia SEM, validando con esto el dispositivo de control en ambiente LinuxCNC desarrollado.

Debido a distintos factores como por ejemplo la viscosidad de la solución depositada y el tratamiento térmico que se le da al sustrato de vidrio, los resultados indicaron que no hay mucha diferencia en el grosor final de la película y el entre el numero de capas con los que se realizaron los experimentos, por lo que en investigaciones futuras se deben hacer un hacer un análisis mas detallado en estos aspectos.

Referencias

- [1] Ito, S., Chen, P., Comte, P., Nazeeruddin, M. K., Liska, P., Pechy, P., & Grätzel, M. (2007). Fabrication of screen-printing pastes from TiO₂ powders for dye-sensitised solar cells. *Progress in photovoltaics: research and applications*, 15(7), 603-612.
- [2] Krebs, F. C. (2009). Fabrication and processing of polymer solar cells: a review of printing and coating techniques. *Solar energy materials and solar cells*, 93(4), 394-412
- [3] Schilinsky, P., Waldauf, C., & Brabec, C. J. (2006). Performance analysis of printed bulk heterojunction solar cells. *Advanced Functional Materials*, 16(13), 1669-1672
- [4] Krebs, F. C., Jørgensen, M., Norrman, K., Hagemann, O., Alstrup, J., Nielsen, T. D., & Kristensen, J. (2009). A complete process for production of flexible large area polymer solar cells entirely using screen printing—first public demonstration. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(4), 422-441.
- [5] Hoth, C. N., Choulis, S. A., Schilinsky, P., & Brabec, C. J. (2007). High photovoltaic performance of inkjet printed polymer: fullerene blends. *Advanced Materials*, 19(22), 3973-3978
- [6] Aernouts, T., Aleksandrov, T., Giroto, C., Genoe, J., & Poortmans, J. (2008). Polymer based organic solar cells using ink-jet printed active layers. *Applied Physics Letters*, 92(3), 033306
- [7] Vak, D., Kim, S. S., Jo, J., Oh, S. H., Na, S. I., Kim, J., & Kim, D. Y. (2007). Fabrication of organic bulk heterojunction solar cells by a spray deposition method for low-cost power generation. *Applied Physics Letters*, 91(8), 081102.
- [8] Steirer, K. X., Reese, M. O., Rupert, B. L., Kopidakis, N., Olson, D. C., Collins, R. T., & Ginley, D. S. (2009). Ultrasonic spray deposition for production of organic solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(4), 447-453.
- [9] Giroto, C., Moia, D., Rand, B. P., & Heremans, P. (2011). High-Performance Organic Solar Cells with Spray-Coated Hole-Transport and Active Layers. *Advanced Functional Materials*, 21(1), 64-72.
- [10] Hoth, C. N., Steim, R., Schilinsky, P., Choulis, S. A., Tedde, S. F., Hayden, O., & Brabec, C. J. (2009). Topographical and morphological aspects of spray coated organic photovoltaics. *Organic Electronics*, 10(4), 587-593.
- [11] Staroveški, T., Brezak, D., & Udiljak, T. (2013). LinuxCNC—the enhanced machine controller: application and an overview. *Technical Gazette*, 20(6), 1103-1110
- [12] Valentino, J., & Goldenberg, J. (2003). *Introduction to computer numerical control (CNC)*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, pp 203-213.

[13] Reale, A., La Notte, L., Salamandra, L., Polino, G., Susanna, G., Brown, T. M., ... & Di Carlo, A. (2015). Spray Coating for Polymer Solar Cells: An Up-to-Date Overview. *Energy Technology*, 3(4), 385-406.

[14] Seshan, K. (2012). *Handbook of thin film deposition*. William Andrew. . pp 14-25.

[15] Susanna, G., Salamandra, L., Brown, T. M., Di Carlo, A., Brunetti, F., & Reale, A. (2011). Airbrush spray-coating of polymer bulk-heterojunction solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(7), 1775-1778.

Desarrollo sustentable y los diferentes métodos de transporte de energía eléctrica

BAUTISTA-VARGAS, María*†, BARRON-TORRES, José, GARCÍA-MARTÍNEZ, Arnulfo y HERNÁNDEZ-FLORES, José.

Universidad Politécnica de Altamira, Programa Académico de Ingeniería en Energía, Dir. Nuevo Libramiento Altamira – puerto industrial km 1.5, acceso por el km 30 de la carretera Tampico – Mante, C.P. 89600

Recibido Abril 26, 2016; Aceptado Junio 2, 2016

Resumen

El transporte de energía eléctrica, es el conjunto de dispositivos guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo. En la presente investigación se realiza un análisis de los aspectos de desarrollo sustentable y la relación con los diversos métodos de transporte de la energía. Para ello, se elaboró tres tablas comparativas, donde se muestran los países seleccionados, los diferentes métodos de transporte de energía eléctrica y los aspectos de Desarrollo Sustentable (social, económico, ambiental y político). Dentro de los resultados obtenidos se obtuvo las características de los dispositivos de transporte de energía eléctrica, uso e impactos en países previamente seleccionados. La comparación de estos países con México muestra la tendencia a la necesidad de aperturar políticas que involucren otros medios para la distribución de la energía, con el fin de implementar el desarrollo sustentable en el país.

Transporte de Energía Eléctrica, Desarrollo Sustentable, SAG, SWELL, Distribución de Energía inalámbrica

Abstract

The transmission of electricity is the set of guiding electric energy from a power generation to consumption centers devices. In this research an analysis of the aspects of sustainable development and the relationship with the various methods of transportation of energy is done. To do this, three comparative tables, where the selected countries, different methods of power transmission and aspects of sustainable development (social, economic, environmental and political) displayed were developed. Among the results obtained the characteristics of the devices power transmission, use and impact in selected countries it was obtained. Comparison of these countries with Mexico shows the trend to opening the need for policies that involve other means for distribution of energy, in order to implement sustainable development in the country.

Power Transmission, Sustainable Development, SAG, SWELL, Wireless Power Distribution

Citación: BAUTISTA-VARGAS, María, BARRON-TORRES, José, GARCÍA-MARTÍNEZ, Arnulfo y HERNÁNDEZ-FLORES, José. Desarrollo sustentable y los diferentes métodos de transporte de energía eléctrica. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 60-72

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: esther.bautista@upalt.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El transporte de energía eléctrica, es el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo (Jiménez, 2006).

Algunas de las problemáticas en el sistema de distribución de energía eléctrica, son causas comunes debido a las fallas en el cableado, como son: las ramas de los árboles a una corta distancia de la red eléctrica, las condiciones climáticas, sobrecalentamiento del cableado eléctrico, aumento repentino del voltaje y en ocasiones, la sobrecarga dentro de las viviendas (Landinger, 2010).

Uno de los factores de este tipo de problemáticas que se presentan en zonas rurales, parques o zonas de áreas verdes son las ramas de los árboles, esto debido a que el sistema de distribución de energía eléctrica de baja tensión se encuentra muy cercano a estas zonas, generando una interrupción debido a que las ramas hacen contacto con el cableado eléctrico, lo cual puede ocasionar cortos temporales, fallas en interruptores, hasta incendios debido a la formación de chispas al contacto (Landinger, 2010; Bouford, 2008).

Otro factor, son las condiciones climáticas, que impacta el ambiente de forma negativa a la red eléctrica. Es decir, en verano, se presentan precipitaciones con más frecuencia en la zona centro de la República Mexicana; lo cual genera problemas en las redes eléctricas debido a que las líneas de distribución se encuentran un poco deterioradas y por ende, existen pérdidas de voltaje.

Dentro del mismo factor, se encuentra otra problemática que es el sobre voltaje, el cual es generado debido a la diferencia de potencial que se crea con la formación de nubes cargadas electrostáticamente generando un alto campo magnético (Ruelas, 2000), afectando las redes de distribución y transportando una cantidad de energía mayor a la capacidad de esta.

En la actualidad en México, el transporte de energía eléctrica es por medio del cableado; la cual es suministrada alrededor del país por medio de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), misma que rige dentro del país como la única empresa dedicada a la satisfacción de la demanda energética a nivel nacional.

El cableado como forma de transporte de energía, suele ser un problema, debido a que se generan situaciones de deterioro en el mismo, lo cual conforme pasa el tiempo se va requiriendo mayor mantenimiento, esto además de provocar problemáticas a la sustentabilidad de comunidades con mayor demanda.

Sustentabilidad de la energía eléctrica en México

Uno de los enfoques a nivel internacional para los países es que se desarrollen de manera sustentable, por eso en México, se necesita abarcar los puntos correspondientes del desarrollo sustentable, los cuales son de alta importancia para esta investigación. Uno de los puntos a destacar es el aspecto ambiental, el cual, el cableado eléctrico no es competente en este punto, ya que este contamina visualmente a tal grado de perjudicar tanto a la fauna como a los seres humanos; además de generar un residuo que es sintético y no es posible reutilizar.

Otro punto a destacar es el social, en el cual recae la problemática de los accidentes suscitados debido al mantenimiento de este tipo de distribución por parte de los trabajadores de CFE, lo cual también ha generado problemas a la población en general, debido a que en ocasiones, las estructuras de las viviendas se encuentran a pocos metros del sistema y este es un peligro latente para los ocupantes de las mismas (Figura 1).



Figura 1 Cableado eléctrico en México.

Uno de los aspectos a destacar es el económico, ya que con el nacimiento de nuevas tecnologías, la red de distribución podría ser modificada; esto debido a que son más baratas en cuanto al costo de distribución de energía que la convencional; a pesar de que aún están en desarrollo, prometen ser más eficientes que el cableado. En la Tabla 1, se muestran los costos dependiendo del método de distribución, se puede observar que el método inalámbrico es más costoso, sin embargo abarca más distancia a comparación de la distribución de cableado.

Método de distribución	Distancia (m)	Precio (\$)
Cableado	1 m.	\$126
Inalámbrico	2 m	\$169

Tabla 1 Costos de método de distribución.

En el aspecto político, de acuerdo al “Manual regulatorio de planeación del sistema eléctrico nacional” la implementación de una nueva tecnología en el ámbito de distribución de energía eléctrica debe pasar por un proceso de evaluación, el cual lleva a cabo una revisión de costos de proyectos recientes efectuados por diferentes países en el mundo (CFE, 2016); creando trabas hacia las nuevas tecnologías eficientes que aún no han sido implementadas en el mundo. Esto merma en los aspectos anteriores de la sustentabilidad, debido a que no permite que el país avance tecnológicamente, además de que persistirán las problemáticas ya mencionadas con anterioridad.

Calidad de la energía

La calidad de la energía no se puede definir en sí por ser algo indeterminado, pero se podría decir que es la ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje suministrados al usuario (Olvera Contreras, 2013; Yebra Vega, 2010).

En México, se presentan problemas en la distribución de energía eléctrica que dificulta la entrega de energía de calidad al usuario. Los problemas que más se presentan en la actualidad dentro de las redes de distribución son: el hueco de tensión (SAG), elevaciones de tensión (SWELL), Armónicas, Interrupciones, etc.

El SAG es un decremento del voltaje que se presenta a causa descargas atmosféricas, fallas, arranque de motores, falta de mantenimiento de alimentadores, entre otros. El SWELL es el incremento del voltaje a causa de las fallas presentadas en los sistemas de generación, en la red eléctrica y dentro de los hogares, al ocurrir algún corto circuito (García M., 2009; Mora Flórez, 2003).

Los armónicos son cargas no lineales que conectan a las redes eléctricas sinusoidales con corrientes no lineales, lo cual genera un aumento de potencia al transportador, empeorando el factor de potencia de la red y provocando sobrecargas en los conductores, lo cual calienta las redes eléctricas aumentando el efecto Joule (RTR, 2012; Dariel Arcila, 2010).

Estas problemáticas son la llave para dar paso a otros tipos de generación de energía, esto en base a distintos métodos investigados y dispositivos desarrollados.

Metodología a desarrollar

Como se mencionó con anterioridad, en el presente trabajo se desarrolló una investigación descriptiva, mediante una matriz comparativa de los diferentes métodos de transporte de energía eléctrica.

Sé utilizó la herramienta de Matriz Comparativa para analizar el enfoque de los criterios que manejan cada alternativa de distribución de energía contrastando con los aspectos técnicos ambientales, políticos, sociales y económicos desde la perspectiva que opera los países de India, Nueva Zelanda, Dinamarca, Estados Unidos, China, la Unión Europea y Latinoamérica, comparado con los aspectos que maneja México, ampliando la zona de estudio debido a que los aspectos a tratar son a nivel nacional. Las etapas de desarrollo consistieron en (Figura 2):

1. Descripción de los diferentes métodos de transmisión de energía eléctrica identificando los principios utilizados y los avances realizados hasta el momento (González, 2009; Pérez, 2010; Ingeniería, 2011; pena, 2009).

2. Selección de los países para la comparación de los criterios ya mencionados, en base a la distribución de energía eléctrica, seleccionándose aquellos que han desarrollado características específicas respecto a la implementación de las energías renovables y los que aún se encuentran en desarrollo de la misma (André, 2010).
3. Elaboración de una Matriz Comparativa de doble entrada que muestre la información de una forma resumida y concentrada a través de columnas y filas, principalmente para comparar las características del desarrollo sustentable bajo los criterios establecidos en los países seleccionados y la viabilidad de cada dispositivo.
4. Analizar los resultados obtenidos correlacionando los aspectos que tiene México, Identificando el método relevante podría ser adoptado como una opción de transporte de energía.

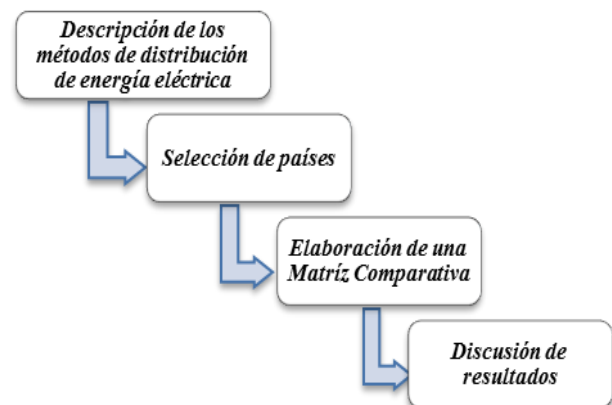


Figura 2 Etapas de desarrollo.

Resultados

Descripción de los Métodos de distribución de energía eléctrica.

Hoy en día, con el desarrollo tecnológico y las investigaciones, se han descubierto nuevos métodos de distribución de energía eléctrica, entre los cuales se encuentran las ondas de radio o de Radiofrecuencia (RF), las microondas, el láser y la inducción electromagnética o inducción de campo cercano. Algunas de estas tecnologías, aún se encuentra en investigación mientras que otras ya se encuentran comercializadas.

La tecnología de transmisión de energía por medio de la RF es basada en la Teoría de Maxwell, la cual hace referencia a las ondas electromagnéticas, su comportamiento y su frecuencia (González, 2009). Las ondas de radio han sido investigadas por años, desde hace más de 150 años, las cuales se ha descubierto que son generadas cuando una corriente alterna pasa por un conductor, su frecuencia es medida en Hertz (Hz) y su longitud de onda en metros (m) (Pérez, 2010). Esta tecnología es utilizada para la transmisión de datos de voz, la voz es transmitida hacia un emisor, la cual es codificada para después ser emitida por medio de una antena transmisora. Hasta el momento, existe una empresa que se dedica a desarrollar ésta tecnología que recientemente ha logrado transmitir micro vatios y mili vatios de potencia (Pérez, 2010).

Otra tecnología en desarrollo es la transmisión de energía por microondas, estas también son ondas electromagnéticas pero, con diferente frecuencia. Lo que diferencia las microondas de las demás es que son de una frecuencia más alta, por ende sus vibraciones son muy elevadas por segundo (Pérez, 2010; Mendoza, 2002). Estas ondas son generadas por un magnetrón, el cual es calentado por una corriente eléctrica y produce una nube de protones a su alrededor, lo que provoca que los electrones giren alrededor del filamento en forma de espiral conformado por imanes permanentes que permiten que la energía emitida sea de forma radial.

Al viajar los electrones en forma espiral generan un campo electromagnético perpendicular al desplazamiento de los mismos hasta alcanzar el polo positivo de alto voltaje (Ingeniatic, 2011).

Las microondas han sido estudiadas por años, comenzando con el científico Thomas Alba Edison, el cual comenzó con un dispositivo que generó pulsos eléctricos de duración muy corta combinado con una antena parabólica (Pérez, 2010). Hoy en día, existen empresas interesadas en este tipo de distribución y han comenzado investigaciones acerca de ello.

Uno de los desarrollos logrados gracias al trabajo presentado por Albert Einstein acerca del efecto fotoeléctrico es la aplicación del láser como sistema de distribución de energía. Esta tecnología se basa en la conversión de la energía eléctrica o química en un haz de luz potente, el cual es proyectado a través del aire hacia un receptor que transforma de nueva cuenta en energía eléctrica. Según la teoría del efecto fotoeléctrico desarrollada por Einstein, si se estimulan los átomos de una sustancia, estos pueden emitir una luz de igual longitud de onda. Dicho proceso de emisión estimulada, primero se lleva a cabo el proceso de absorción de un fotón, el cual el electrón que se encuentra ligado al átomo absorbe un fotón y a esto se le es conocido como la inversión temporal del proceso de emisión (Pérez, 2010).

Para que se realice la emisión, debe de existir dentro del ambiente otros fotones que no interactúen con el átomo, a estos se les conoce como fotones “espectadores” los cuales deben tener los mismos números cuánticos del fotón emitido; Estos deben permanecer desde el estado inicial hasta el final. Después, el átomo es rodeado por un fondo de radiación de fotones con la frecuencia y polarización adecuada, generando así un haz láser (Pena, 2009).

Para generar el rayo, es necesaria una fuente de energía eléctrica que excite a los átomos de las sustancias que se usa como medio y cause que estos choquen entre sí para que produzcan la luz. Dentro de este utilizan los espejos para aumentar la luz producida por los átomos, los cuales son enviados hacia adelante y una vez que la luz sea lo suficientemente brillante, pasa a través de un espejo y se produce el rayo. Existe una empresa dedicada a la investigación de este método para la distribución, ya que hasta el momento no se ha desarrollado por completo (Pérez, 2010).

Una de las opciones más desarrolladas en distribución y que existen más empresas generando e innovando este tipo de distribución es por inducción electromagnética. Esta tecnología está basada en la ley de Faraday, debido a que fue el primer físico en descubrir que la energía al producir magnetismo, puede generar electricidad (Castaño, 2008).

Uno de los dispositivos creados para reforzar su teoría fue una conexión de un galvanómetro a una bobina, después introducía un imán a este y observó que se producía una corriente transitoria. Con esto se explica que la inducción electromagnética es el proceso mediante el cual los campos magnéticos generan una corriente eléctrica en un conductor (Pérez, 2010). Hoy en día, esta tecnología ya está puesta en marcha en distintos dispositivos, como el encendido de lámparas, cargando celulares, hasta la recarga de autos eléctricos; siendo una opción más viable para la distribución.

Selección de países

Debido a que algunos dispositivos se encuentran en desarrollo, aún no se ha creado una comparativa acerca del tema, esto dificulta la selección de los países, por ello se ha utilizado como fuente el uso de las energías renovables.

Existen países que han adquirido las nuevas tecnologías de energías alternativas aplicándolas para el desarrollo de los mismos. Basándonos en esta investigación se seleccionaron los países como India, Nueva Zelanda, Dinamarca, Estados Unidos, China, Unión Europea y Latinoamérica. Dentro de la Unión Europea se incluyeron los países: Italia, Alemania, Francia, España, Suiza; y en Latinoamérica se incluyeron los países: Brasil, Perú, Chile, Argentina y México.

Elaboración de una Matriz Comparativa

Para la elaboración de una Matriz Comparativa la información se debe presentar de forma resumida y concentrada a través de filas y columnas. Principalmente, se identificaron los aspectos políticos que maneja cada país.

En una segunda estancia se identificaron los aspectos ambiental, social, económico, y político que presenta cada método de distribución de energía creando una comparativa entre los puntos ya mencionados, lo anterior se integró con la información recabada de las políticas dentro de los países seleccionados con los aspectos de cada método de distribución de energía. Se utiliza un sistema binario, manejado valores de "1" si cumple y "0" no cumple, demostrando la viabilidad de cada país de acuerdo al método y que países cuentan con un desarrollo para estos. Realizándose al final una sumatoria de los puntos de cada método y de esta manera identificar al método más viable de transmisión de energía eléctrica en cada país seleccionado, así como las posibilidades de desarrollo y aplicación de esta tecnología.

En la Tabla 2, se observan los países seleccionados en base a las políticas desarrolladas respecto a la aceptación de las nuevas tecnologías y el aprovechamiento de estos, así como la inversión en el desarrollo de nuevas opciones tecnológicas, arrojando datos concretos acerca de su desarrollo tecnológico en base a la investigación señalada con anterioridad. Esto contribuye a tener conocimiento acerca del desarrollo tanto político como tecnológico de cada país, generando así un nicho de oportunidad para el desarrollo de nuevas políticas que permitan el crecimiento de las innovaciones generadas en los mismos.

Entre los resultados obtenidos, la India presenta una gran aceptación de las nuevas formas de aprovechamiento de energía, como son las renovables, además de que se propicia que aumentar la demanda de aprovechamiento de las energías renovables debido al Plan Nacional de Cambio Climático (PNCC) lanzado en 2008 (Sánchez, 2012).

Otro de los países que presenta políticas favorables es Nueva Zelanda, ya que se ha mostrado interesado en apoyar las innovaciones realizadas dentro de su país, actuando como colaborador el país Español (OID, 2016). Dinamarca, es un país que se ha desarrollado potencialmente debido a su cultura ecológica, a la importancia del uso de los recursos renovables y al manejo político dentro del mismo dejándolo así dentro de los primeros diez en el índice de sustentabilidad energética (CME, 2013; Induambiente, 2015).

De acuerdo al documento “Guía sobre la regulación federal de las ventas de electricidad importada en Canadá, México y Estados Unidos”, sólo existe una regulación para el uso, compra-venta de energía y no requiere el permiso para la importación de energía eléctrica, esto demuestra que hasta cierto punto, las normas regulatorias de energía dentro de este país son flexibles, también se han dedicado a utilizar el recurso solar como fuente de energía al igual que el uso de etanol como combustible para la producción de biocalor en edificios (EAN, 2005; REN21, 2016). China, que es otro de los países involucrados, presenta nuevos proyectos desde hace más de diez años, proyectos que involucran el avance energético dentro de este, modificando sus políticas y sus procedimientos de producción (Palazuelos y García, 2007).

Debido a que los avances tecnológicos se han presentado dentro de la Unión Europea, ha dado indicios de que existe una regulación en la mayoría de estos países que involucra la experimentación y la implementación de las innovaciones, además de que la conforman países comprometidos con el uso de las energías renovables como medio de producción de energía (CCE, 2013).

En los últimos años, Latinoamérica se ha interesado en implementar tecnología que beneficie económicamente a los países involucrados. Las empresas transnacionales han mostrado interés en utilizar los recursos de esta zona del mundo, gracias a esto ha comenzado el desarrollo tanto energético como tecnológico de estos países, abriendo una opción más para la implementación de nueva tecnología (CME, 2013).

En base a esto, se observa las desventajas que tiene México con las potencias mundiales, ya que nuestro país cuenta con una política en desarrollo para el aprovechamiento de las innovaciones referentes a distribución de electricidad utilizando energías alternas, situación que en otros países han tratado de mejorar.

Países	Políticas
India	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia mundial a nivel energético. • Apuesta a las energías renovables. • Se encuentra abierto a nuevas tecnologías que sean eficientes. • Sus compañías buscan nuevas opciones a nivel energético en otros países. • Han incrementado su inversión en las energías renovables en un 52%. • En 2011, invirtió 10.3 millones de dls en tecnología.
Nueva Zelanda	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentra entre los 10 primeros países con alto índice de sustentabilidad energética. • Invierte en la creación de nuevas tecnologías. • Cuenta con un plan de innovación de tecnologías. • Abre paso al uso de nuevas tecnologías que sean eficientes.
Dinamarca	<ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con una política medioambiental y sustentable. • Invierte en la creación de nuevas tecnologías. • Apuestan por el uso de las energías renovables. • Crea programas de concientización ambiental. • Se encuentra abierto a nuevas tecnologías que sean eficientes.
Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Invierte en la generación de energía eléctrica mediante las energías renovables. • Es uno de los principales productores de energía verde. • En 2011, presentó una inversión de 50 billones de dólares en las tecnologías de energía renovable. • Cuenta con planes futuros para el uso total de los recursos renovables. • No cuenta con legislaciones que prohíban el ingreso de nuevas tecnologías al país. • Se encuentra medianamente abierto al uso de nuevas tecnologías que sean eficientes.
China	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizan las energías renovables en un 23% de producción. • Es el país líder en inversión en energía y combustibles renovables. • Apoya a la creación de nuevas tecnologías. • En 2014, presentó una inversión de 83.3 billones de USD. • Se encuentra abierto a nuevas tecnologías que sean eficientes.
Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> • En 2011, se presentó un 20.6% de uso de las energías renovables para la producción de energía. • Invierten en la generación de nuevas tecnologías. • Cuentan con un plan de desarrollo de tecnología. • Se encuentra abierto a nuevas tecnologías que sean eficientes.
Latinoamérica	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentran en proceso de uso de las energías renovables. • En 2014 invirtieron 13.3 miles de millones de USD. • No cuentan con planes de inversión en el desarrollo de nuevas tecnologías. • Se encuentran cerradas al uso de las nuevas tecnologías.

Tabla 2 Matriz descriptiva de los aspectos políticos de cada país.

Se obtuvieron los resultados de los diferentes métodos inalámbricos de transmisión de energía eléctrica en base a los criterios de sustentabilidad. En la tabla 3, estos resultados demuestran que la mayoría de ellos son viables tanto para México como otros países en desarrollo, eliminando las problemáticas ya mencionadas. Existen pros y contras de cada una, dejando en claro que hay tecnologías que no podrán ser aceptadas, una de estas es la tecnología por microondas; si bien ya fue probada en el espacio por una compañía japonesa (Pérez, 2010) y dio resultados positivos, es muy costosa, ya que esta compañía pretende transmitirla desde el espacio direccionada a los módulos fotovoltaicos.

Otra tecnología que cuenta con una gran desventaja es por medio de RF, la cual genera pérdidas al momento de la distribución aunque es una tecnología realmente barata, dejando así dos opciones viables para la transmisión de la energía eléctrica.

Dispositivos	Ambiental	Social	Económico	Político
RF	No contamina	No causa daños en la salud. No es aplicable a los sistemas de distribución debido a que ha sido utilizado para transmitir bajos voltajes (5V).	El dispositivo tiene un costo de \$5 USD.	Es necesario el permiso de las autoridades correspondientes.
Microondas	No contamina	Se encuentra en desarrollo pero arroja datos alentadores para ser una opción viable.	El costo aún no es concreto, pero el plan a futuro de este método promete ser costoso.	Es necesario el permiso de las autoridades correspondientes.
Láser	No contamina	No causa daños en la salud. Se encuentra en desarrollo pero en las pruebas realizadas a dicho dispositivo alcanzó a transmitir 1.5V en una distancia de 10 m.	El dispositivo desarrollado tiene un costo de \$200 USD.	Es necesario el permiso de las autoridades correspondientes.
Inducción Electromagnética	No contamina	No causa daño en la salud. Se ha desarrollado un dispositivo que ha sido utilizado para cargar dispositivos móviles.	El dispositivo desarrollado tiene un costo de \$100 USD.	Es necesario el permiso de las autoridades correspondientes.

Tabla 3 Aspectos base de los métodos de distribución de energía eléctrica.

Después de obtener los datos necesarios se realizó la integración en la Matriz Comparativa como se muestra en la Tabla 4. De acuerdo a los diferentes métodos de distribución de energía eléctrica en base a los criterios de sustentabilidad que se encuentran dentro de cada país seleccionado.

Los resultados que se obtuvieron comprenden el nivel de aceptación de los mismos de acuerdo a las políticas ya analizadas de cada país, si bien hay países que se encuentran dentro de la lista que están desarrollando algún método ya mencionado, hay otros que debido a la viabilidad de estos pueden ser aceptados para el aprovechamiento de los mismos. Una de las tecnologías que ha sido aceptada dentro de los últimos años ha sido la tecnología Witricity, la cual fue desarrollada y es aplicada en la transmisión a corta distancia, como un cargador de celular, encendido de lámparas, entre otros (Páz y Torres, 2014).

Esta tecnología, demuestra que es posible la eliminación del cableado en la distribución de energía eléctrica pero es necesario llevar a cabo su desarrollo para mejorar el dispositivo y así, permita el transporte a largas distancias. Sin embargo, no es la única tecnología posible, también el uso de la tecnología láser puede ser la opción para la eliminación del cableado, ya que respeta los aspectos de sustentabilidad.

Países	Dispositivos	Ambiental	Social	Económico	Político	Total por dispositivo	Total por país
India	RF	1	0	1	1	3	14
	Microondas	1	1	0	1	3	
	Láser	1	1	1	1	4	
	Inducción Electromagnética	1	1	1	1	4	
Nueva Zelanda	RF	1	0	1	1	3	13
	Microondas	1	1	0	1	3	
	Láser	1	1	1	1	4	
	Inducción Electromagnética	1	1	1	1	3	
Dinamarca	RF	1	0	1	1	3	14
	Microondas	1	1	0	1	3	
	Láser	1	1	1	1	4	
	Inducción Electromagnética	1	1	1	1	4	
EEUU	RF	1	0	1	0	2	11
	Microondas	1	1	0	0	2	
	Láser	1	0	1	1	3	
	Inducción Electromagnética	1	1	1	1	4	
China	RF	1	0	1	0	2	14
	Microondas	1	1	1	1	4	
	Láser	1	1	1	1	4	
	Inducción Electromagnética	1	1	1	1	4	
UE	RF	1	1	1	1	4	13
	Microondas	1	1	0	0	2	
	Láser	1	1	0	1	3	
	Inducción Electromagnética	1	1	1	1	4	
Latinoamérica	RF	1	0	1	0	2	8
	Microondas	1	0	0	0	1	
	Láser	1	1	0	0	2	
	Inducción Electromagnética	1	1	1	0	3	

Estados Unidos (EEUU), Unión Europea (UE);

Sistema binario. 1, si cumple; 0, no cumple

Tabla 4 Matriz comparativa de los países seleccionados bajo los criterios de aplicación de la sustentabilidad.

Los resultados arrojados por la Matriz Comparativa demuestran que los países más aptos y con más aceptación para estos métodos de distribución son India, Dinamarca y China esto de acuerdo a que obtuvieron una puntuación de 14 puntos mostrando que cumplen con todos los criterios que se seleccionaron.

Otros de los países que le siguen con una puntuación de 13 puntos son países pertenecientes a la Unión Europea, ya que estos presentan un alto índice de aceptación hacia las innovaciones y los métodos que cumplen con los criterios de sustentabilidad. Estados Unidos presenta una puntuación de 11 puntos debido a que sus políticas de aceptación de tecnología aún no han sido desarrolladas por completo.

Finalmente se encuentran países de Latinoamérica, dentro de los cuales se encuentra México que presenta una baja puntuación de 8 puntos esto de acuerdo a las investigaciones políticas de estos países no han sido aperturadas con respecto a los avances de distribución y tecnología, teniendo una gran área de oportunidad al desarrollo tecnológico en los mismos.

Discusión de los Resultados

Dentro de la investigación se estudiaron los aspectos sustentables respecto a cada dispositivo de transmisión de energía para su comparación con México. Lo expuesto incluye la elaboración de una Matriz Comparativa con el enfoque de los aspectos sustentables como son el ambiental, social, económico y político de cada dispositivo de transmisión de energía eléctrica, desde la perspectiva política que rige a los países seleccionados comparándolo con los aspectos que maneja México.

Cabe señalar que el método de distribución de energía eléctrica más apto es por inducción electromagnética, debido a que cuenta con los aspectos necesarios para el Desarrollo Sustentable y que políticamente, tiene menos problemáticas. Otro punto relevante, es la detección de países que mejor se desarrollan en cuanto a las innovaciones, los cuales son Dinamarca, India y China.

La comparación de estos países con México, muestra la tendencia a la necesidad de aperturar políticas que involucren otros medios para la distribución de la energía, con el fin de implementar el desarrollo sustentable en el país.

Agradecimiento

Se le agradece el apoyo brindado a la empresa CFE a través del M. C. Arnulfo Benito García Martínez, por facilitarnos el material necesario para la elaboración de este documento. Así como a la Universidad Politécnica de Altamira por su apoyo para el desarrollo y difusión de esta investigación.

Conclusiones

Los datos arrojados dentro de los aspectos políticos indican que México cuenta con un sistema político que se encuentra en crecimiento hacia el ámbito energético, si bien se utilizan las energías renovables para la producción de energía en un 24.5% aún continúan progresando en este ámbito.

Otro punto a destacar es que la mejor opción como método de distribución de la energía eléctrica es la inducción electromagnética; ya que la compañía Witricity ha mejorado esta tecnología de tal forma que sea más viable.

La inducción electromagnética es un método simple, de bajo costo, que no genera contaminación de algún tipo y que de acuerdo a las políticas mencionadas dentro de la investigación, no genera problemas al ser instalada dentro de sus redes eléctricas y mejoraría los aspectos de las problemáticas ya mencionadas (SAGs, SWELLS, pérdidas por aumento de temperatura, etc.).

Referencias

André, F., De Castro, L., & Cerdá, E. (2010). Las energías renovables en el ámbito internacional (Licenciatura). Universidad Complutense de Madrid.

Bouford, J. (2008). Spacer cable reduces tree caused customer interruptions. Recuperado de: <http://kafactor.com/content/technical-resources/ieee-scs-paper.pdf>.

Castaño, Arturo R. (2008) Unidad V: Inducción Electromagnética. En: (Primera edición, pp. 2-4) Argentina. Universidad Nacional del Nordeste.

CFE (2016). Código de red (p. 84). México: Subdirección de transmisión.

Consejo Mundial de la Energía (CME). (2013). La red de líderes del sector energético que promueve el suministro y uso sostenible de la energía en beneficio de todos. WEC, 80°, 1-16

Comisión al Consejo Europeo. (2013). Política energética y sus desafíos. Comisión Europea, 1-29.

Dariel Arcila, J. (2010). Armónicos en sistemas eléctricos. IEB. [En línea] <http://www.ieb.com.co>.

Energía de América del Norte (EAN). (2005). Guía Sobre La Regulación Federal De Las Ventas De Electricidad Importada En Canadá, México Y Estados Unidos. Grupo de Trabajo de Energía de América del Norte, 1-12.

García Martínez, A. (2009). Calidad de la energía. Presentación, México.

González Ureña, Á. (2009). Descubrimiento de las ondas de Radio: la confirmación de la Teoría Electromagnética. Investigación y ciencia. [En línea]<http://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/10/posts/descubrimiento-de-las-ondas-de-radio-la-confirmacin-de-la-teora-electromagnetica-10186>.

Iusa. (2015). Lasta de precios: conductores construcción baja tensión. Iusa. [en línea]. http://www.iusa.com.mx/Lista_Precios/Conductores_Const_IUSA.pdf.

Induambiente. (2015). Dinamarca es un referente mundial en materia de “crecimiento verde”. A continuación revisamos parte de su experiencia, de sus planes de consolidación y de las opciones de colaboración que existen con Chile. Informe Internacional, 52-62

Ingeniatic. (2011). Magnetrón. Ingeniatic. [En línea]. <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/504-magnet%C3%B3>.

Jiménez Meza, O., Cantú Gutiérrez, V., & Conde Enríquez, A. (2006). Departamento de iluminación y alta tensión (Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.

Landing, C. (2010). Sistema Hendrix de líneas compactas: Contacto con ramas. Redes eléctricas. [En línea] <http://www.redeselectricas.com.ar/news/hendrixrural.html>.

Mendoza Dueñas, J. (2002). Ondas electromagnéticas. En J. Mendoza Dueñas (Octava edición) Física (Pp. 1-4). Perú: Telafax.

Mora Flórez, J. J. (2003). Perturbaciones en la onda de tensión: Huecos [sag] y sobretensiones [swell]. Presentación, Girona.

Oficina de Información Diplomática (OID). (2013). Nueva Zelanda. Ficha País, 1-6.

Olvera Contreras, J. (2013). Estudio de problemas de compatibilidad dieléctrica en cables semi-aislados para redes de distribución (Licenciatura). Instituto Politécnico Nacional.

Palazuelos, E.y García, C. (2007). La transición energética en China. Instituto Complutense de Estudios Internacionales, 1-47.

Paz Penagos, H. y Torres, J. J. (2014). Witricity mediante inducción magnética. Ingeniería y Desarrollo (Vol. 32, pp. 2-26). Colombia: Universidad del Norte.

Pena Ruano, C. (2009). Absorción y emisión estimulada de fotones por electrones ligados. Coeficientes de Einstein. En C. Pena Ruano, Mecánica Cuántica Avanzada (Primera edición, pp. 9-12). Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Pérez Arango, J. (2010). Electricidad Inalámbrica (Licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira.

Ren21. (2016). Energías Renovables 2016: Reporte de la situación mundial 2016. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 1-32.

RTR (2012). Calidad de la energía eléctrica (P. 42). Madrid: RTR.

Ruelas, R. (2008). Puesta a tierra de protección atmosférica. Ruelsa. [En línea] <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>.

Sánchez, S. (2012). India: acciones internas de índole energética encaminadas a su conversión como potencia internacional estable. Ciudadanía y Valores, 6°, 27-40.

Yebra Vega, T. (2010). Nuevos retos en el diseño de redes eléctricas de distribución (Doctorado). Universidad Politécnica de Valencia.

Instrumento virtual para diagnosticar y corregir desbalance de maquinaria rotativa

SILVA-JUÁREZ, Alejandro*†, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús, PONCE-MELLADO, Juan y HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo.

Recibido Abril 5, 2016; Aceptado Junio 13, 2016

Resumen

El análisis de vibraciones es una técnica de mantenimiento predictivo que permite diagnosticar el 80% de fallas en maquinaria rotativa como desbalanceo, desalineación, falla en rodamientos, etc. Por ello se desarrolló un instrumento virtual (VI) para hacer análisis de vibraciones, diagnosticar y corregir el desbalance mecánico de rotores rígidos en uno y dos planos, empleando el método de coeficientes de influencia, valorando la severidad vibratoria con base en la norma ISO 1940-1:2003, para ser aplicado al mantenimiento de máquinas rotativas. El programa integra funciones de registro de vectores, cálculo de los pesos y ángulo de corrección para lograr un balanceo aceptable según la norma. Las pruebas de confiabilidad realizadas en tres empresas demuestran que la aplicación tiene un 99% de precisión en calidad correctiva de desbalance de elementos rodantes. La principal contribución de este VI es que el tiempo de adquisición de la magnitud de vibración se realiza en 5 segundos, comparado con el analizador de vibraciones de la firma SKF, que lo realiza en un tiempo de 60 segundos con un rotor girando a las mismas revoluciones por minuto.

Análisis de vibraciones, balanceo dinámico, mantenimiento predictivo, instrumento virtual

Abstract

Vibration analysis is a predictive maintenance technique that can diagnose 80% of failures in rotating machinery like as unbalance, misalignment, bearing failure, etc. Thus a virtual instrument (VI) was developed for vibration analysis, diagnose and correct the mechanical imbalance of rotors rigid one and two planes, using the method of influence coefficients, valuing the vibration severity based on ISO 1940 -1: 2003, to be applied to the maintenance of rotating machinery. The program integrates vector registration functions, calculating weights and correction angle to achieve an acceptable roll according to the standard. Reliability tests conducted in three companies show that the application has a 99% accuracy in corrective unbalance quality rolling elements. The main contribution of this VI is that the acquisition time of the vibration magnitude is performed within 5 seconds, compared to the vibration analyzer signature SKF, which is performed in a time of 60 seconds with a rotor rotating at the same revolutions per minute.

Vibration analysis, dynamic balancing, predictive maintenance, virtual instrument

Citación: SILVA-JUÁREZ, Alejandro, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús, PONCE-MELLADO, Juan y HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo. Instrumento virtual para diagnosticar y corregir desbalance de maquinaria rotativa. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 73-81

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: alejandro.silva@utpuebla.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En cuanto a las tecnologías aplicables al mantenimiento predictivo, el análisis de vibraciones es la técnica ideal utilizada por técnicos, ingenieros y profesionales del mantenimiento, ya que esta técnica hace posible determinar gran cantidad de fallas en una extensa gama de maquinaria a un costo inicial razonable.

La vibración mecánica es un indicador claro y confiable del estado general de una máquina. Bajos niveles de vibración son cualidades de un equipo en buen estado. El desbalance es la principal causa de vibración en una maquinaria rotativa (Joshi G. , 2000) esto provoca que los rodamientos se sometan a cargas dinámicas adicionales que reducen la vida útil de los elementos rotativos.

Estudios realizados a máquinas rotatorias han reconocido que el 40% de los problemas de vibración son atribuidos al desbalance, 30% al desalineamiento y el restante 30% a fallas eléctricas en el rotor (Taylor J. L., 2003).

El desbalance mecánico

El desbalance mecánico en elementos rotatorios (rotor) se ha convertido en un tema de estudio importante para el desarrollo de maquinaria moderna, especialmente donde altas velocidades, la seguridad y confiabilidad son de extrema importancia en las industrias para garantizar la calidad de los productos.

El desbalance mecánico es la fuente de vibración más común en sistemas con elementos rotativos, todo rotor mantiene un nivel de desbalanceo residual, el hecho de que estos generen vibraciones o no, dependen básicamente de que estos operen dentro de las tolerancias de calidad establecidas en las normas para las características y velocidades del rotor en cuestión.

La norma que aplica para este estudio es la ISO 1940-1: 2003 en la cual se especifica los requerimientos para realizar un balanceo de calidad. Incluye definiciones y términos que se utilizan para realizar el procedimiento de balanceo.

El mantener el desbalanceo residual dentro de tolerancias permitirá:

- Evitar falla por fatiga en estructuras y elementos asociadas al elemento rotatorio
- Incrementar la vida útil del sistema rotatorio
- Ahorro de energía
- Prevenir cargas excesivas en rodamientos debido a sobrecargas.

Causas del desbalanceo mecánico

Existe una gran cantidad de fuentes del desbalanceo mecánico en maquinaria rotativa, las más comunes son:

- Falta de homogeneidad en materiales, especialmente en la fundición, en las cuales la presencia de burbujas de aire es una causa común de desbalanceo
- Flechas flexionadas
- Errores de maquinado y tolerancias en el proceso de manufactura
- Cambio de componentes del rotor durante operaciones de mantenimiento
- Desgaste irregular durante la operación de la máquina
- Depósitos de material acumulados durante la operación de la máquina

- Distorsión del rotor debida a gradientes de temperatura

Severidad del desbalanceo dinámico

Todo rotor posee un desbalanceo residual, la aplicación de una técnica matemática y de un equipo de medición para reducir al desbalanceo a sus más bajos límites de vibración, muchas veces resulta inapropiado y muy costoso, debido a eso surgen normas que satisfacen los requerimientos para asegurar el buen funcionamiento de estos elementos, en donde se conjuga el compromiso técnico y económico.

Estas normas consideran elementos esenciales que habrán de tomarse en cuenta antes de seleccionar los criterios de aceptación del desbalanceo residual, algunas de estas consideraciones son:

- Geometría propia del elemento rotatorio,
- Velocidad de giro,
- Masa inercial del elemento,
- Planos de corrección.

Tipos de desbalanceo mecánico

Existen tres tipos de desbalanceo que están presentes en un sistema dinámico rotatorio, éstos se pueden clasificar como:

a) Desbalanceo estático

Es el caso más simple de desbalanceo, sucede en un rotor uniforme de masa (**M**) montado en una flecha (rotor), cuando no coincide su eje de rotación con su eje de simetría geométrica. Si una masa pequeña (**m**) se fija al rotor a una distancia (**r**) a partir del eje de rotación, entonces el rotor estará desbalanceado.

La fuerza centrífuga generada por la masa (**m**) cuando el disco rota a una velocidad de (ω), está dada por:

$$F = m\omega^2 r \quad (1)$$

Donde:

F = Fuerza equivalente a la fuerza generada por una excentricidad *e*, del centro de gravedad del rotor con respecto a su eje de rotación

M = Masa del rotor (kg)

e = Excentricidad del rotor (m, metros)

Cg = Centro de gravedad del rotor.

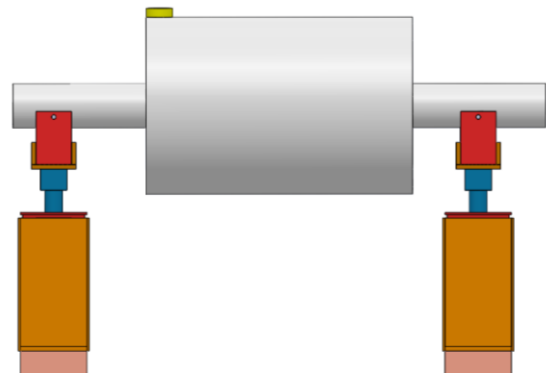


Figura 1 Desbalanceo estático.

b) Desbalanceo por par de fuerzas

En el caso de un cilindro, como se muestra (ver figura 2), es posible tener dos masas iguales, localizadas a una distancia igual del centro de gravedad, pero opuestas.

En este caso el rotor está balanceado estáticamente, sin embargo las dos masas causan un cambio de orientación de los ejes de inercia principales centroidales.

Este tipo de desbalanceo necesita ser corregido cuando el rotor esté trabajando, tomar mediciones de vibración, calcular el peso y el ángulo de corrección en dos planos.

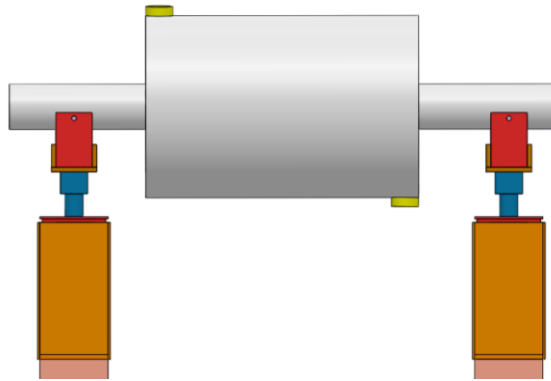


Figura 2 Desbalance por par de fuerzas.

c) Desbalanceo dinámico

Normalmente el desbalanceo en un rotor es la combinación de desbalanceo estático y desbalanceo por par de fuerzas (vea figura 3). Para corregir el desbalanceo dinámico es necesario hacer mediciones de vibración mientras el rotor está trabajando y hacer correcciones en dos planos.

Lo anterior nos muestra de manera general los tipos de desbalanceo mecánico que podemos esperar en un sistema rotatorio, desafortunadamente la solución depende de una gran variedad de elementos que afectan las características propias de los elementos mecánicos al estar operando.

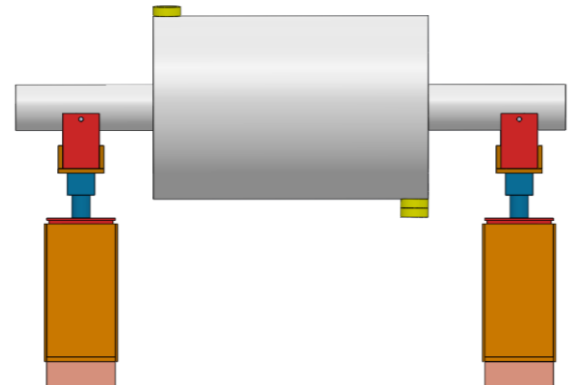


Figura 3 Esquema de desbalanceo dinámico.

Desarrollo

Haciendo uso de un sistema de adquisición de datos y herramientas de LabVIEW, se desarrolló un instrumento virtual (VI) con el objetivo de diagnosticar el desbalanceo mecánico en rotores rígidos, evaluar la severidad vibratoria mediante el análisis espectral y hacer el cálculo de los pesos de corrección. El sistema se representa en diagrama de bloques (ver figura 4) y está constituido por los siguientes elementos:

- Un sensor Láser Serie PicoDot PD
- Dos acelerómetros AC184 – 1A CTC
- Un módulo NI 9234 de cuatro canales de señal dinámica
- Chasis NI cDAQ-9191 con comunicación IEEE 802.11 Wi-Fi
- Una computadora con requerimientos básicos de sistema.



Figura 4 Diagrama de bloques de los elementos que integran el sistema.

Desde la interfaz principal de este instrumento virtual (ver figura 5) el usuario puede ejecutar rápidamente distintos subprogramas que se enlistan a continuación:

- Programa para evaluar la severidad vibratoria (análisis de vibraciones)
- Programa para Balanceo en un Plano.
- Programa para Balanceo en dos Planos.
- Programa para balanceo en Voladizo.

La interfaz principal está estructurada para un uso intuitivo y fácil, que contiene los enlaces a los demás subprogramas, destaca por sus características amigables para el usuario, puede ser manipulado por operadores que no tienen una amplia experiencia en el área, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles.



Figura 5 Interfaz principal.

Programa para analizar la severidad vibratoria

Este programa está destinado para el análisis de vibraciones, orientado a determinar si el problema que genera vibraciones excesivas en la maquina es realmente el desbalance del rotor. Se puede realizar un análisis espectral y medir la fase de la vibración con respecto a un punto de referencia, así como las revoluciones por minutos del rotor (ver figura 6).

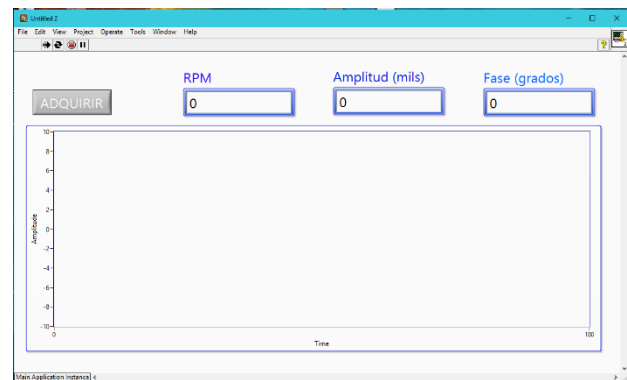


Figura 6 Interfaz del programa para evaluar la severidad de vibración.

Programa para balanceo de rotores en un plano

Este programa permite balancear rotores en un plano, para esto se utiliza el método de coeficientes de influencia el cual relaciona la vibración con la cantidad de desbalanceo (ver figura 7). Para ello se registra la vibración inicial del rotor y luego se le adiciona un peso de prueba, midiendo nuevamente la vibración del rotor, de tal manera que es posible obtener una relación \vec{A} , llamada coeficiente de influencia, entre el incremento de vibración y la cantidad de desbalanceo, de esta manera se puede calcular el peso de la masa de corrección y su ubicación, como se aprecia en la siguientes expresiones:

$$\vec{A} = \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_0}{\vec{u}_p} \quad (2)$$

$$\vec{U}_c = \frac{\vec{V}_0}{\vec{A}} = \frac{\vec{V}_0}{\vec{V}_1 - \vec{V}_0} \vec{U}_p \quad (3)$$

Donde:

\vec{A} =coeficientes de influencia

\vec{V}_0 =vibración inicial

\vec{V}_1 =vibración con masa de prueba

\vec{U}_p =desbalance con peso de prueba

\vec{U}_c = desbalance con peso de corrección

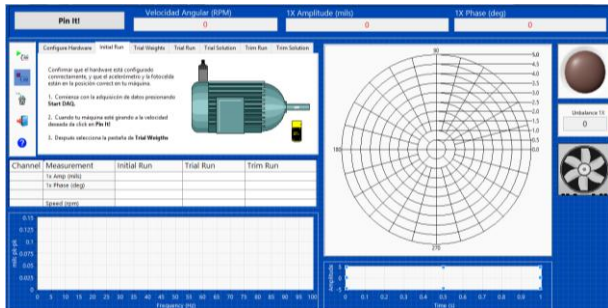


Figura 7 Interfaz del programa para mecánico en un plano.

Programa para balanceo de rotores en dos planos

Este programa permite hacer un balance de rotores rígidos, que debido a sus características como dimensión y/o velocidad de funcionamiento (ver figura 8), se requiere balancear en dos planos. El método utilizado para balanceo es coeficientes de influencia para dos planos, que permite conocer el peso y posición en que se deben colocar las masas de corrección. Los resultados son mostrados en forma numérica en la pantalla. El programa muestra los valores de desbalance inicial y la lectura después del cálculo de colocar los pesos de corrección.

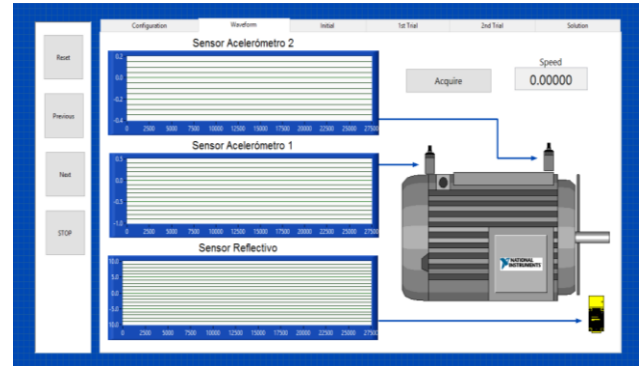


Figura 8 Interfaz del programa para balanceo en dos planos.

Transmisión de datos a dispositivo móvil a través de IEEE 802.11 Wi-Fi

La comunicación entre el cDAQ-9191 y el equipo portátil se realizó utilizando un ancho de banda de 8 Mbps, se realizó la configuración de los parámetros de la red WIFI así como la asignación de la dirección IP, máscara de subred y DNS dentro de la herramienta: *The Measurement & Automation Explorer*. La ventaja de utilizar esta norma de comunicación es la eliminación total del cableado entre la máquina balanceadora y el dispositivo móvil, estableciendo así un ambiente de trabajo más seguro para el operador.

Resultados

Pruebas de laboratorio

Las primeras pruebas del funcionamiento de la aplicación móvil se hicieron en un banco didáctico. Este fue acondicionado para que los sensores se pudieran sujetar, la tracción fue por medio de una banda elástica y un motor de CD de 24V. Los elementos que componen el sistema del banco didáctico se encuentran balanceados de fábrica, entonces se colocaban pesos para simular un desbalanceo como se aprecia en la imagen siguiente.



Figura 9 Pruebas de laboratorio.

En la clase de Mantenimiento Predictivo mecánico fue utilizada esta aplicación para que los estudiantes reforzaran sus conocimientos teóricos. Se les explicó a los estudiantes de manera breve su funcionamiento, por sus características de ser amigable al usuario, los alumnos pudieron hacer prácticas de balanceo.

Con esta herramienta se puede diagnosticar fallas en los elementos rotativos como desbalanceo, flechas flexionadas y la desalineación.



Figura 10 Banco didáctico para balanceo.

Pruebas de campo

En la empresa Embobinados Industriales y Montajes S.A. de C.V. se realizaron las pruebas de funcionamiento a nivel industrial. Se utilizó una máquina balanceadora horizontal de soportes flexibles de precisión de la firma IRD *Balancing*, la cual está diseñada para balancear desde pequeños rotores hasta ventiladores y turbinas, también se utilizó un equipo balanceador dinámico IRD 236 que es ideal para usarse en Producción como “Herramienta de Calidad” y en aplicaciones de balanceo de muy alta precisión.

En cuanto a la instrumentación, se colocaron dos acelerómetros con base magnética en los dos soportes de trabajo pendulares para adquirir la señal de vibración, para conocer la velocidad angular (RPM) la que se está girando el rotor se utilizó un sensor láser soportado mediante un brazo magnético universal (ver figura 10).

El sistema de tracción es por medio de una banda con un motor de 15HP/CA y un variador de frecuencia que nos permite regular la velocidad de giro. Todas las lecturas se realizaron a 1200 RPM (velocidad crítica), recomendó por el fabricante de la máquina en relación a la masa y geometría del rotor a balancear.

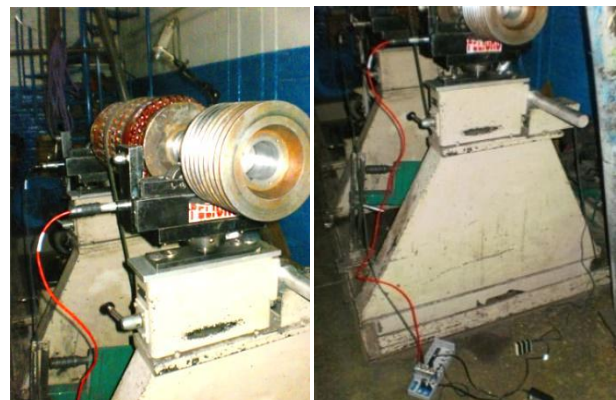


Figura 11 Máquina balanceadora con los acelerómetros instalados.

Se utilizó un ordenador de escritorio al cual se le instaló la aplicación móvil, este fue instalado a dos metros la maquina balanceadora y atrás el instrumento balanceador para que al mismo tiempo de manera fácil y rápida se fueran comparando las lecturas de los dos equipos como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 12 Aplicación e instrumento balanceador operando bajo las mismas condiciones.

Para realizar la medición de vibración (A0) y velocidad del rotor (ω_0) del rotor de estudio, se emplea un sensor óptico que envía un pulso eléctrico por cada revolución del rotor para calcular su velocidad, un acelerómetro que genera una señal eléctrica proporcional a la aceleración del soporte del rotor, esta señal es filtrada a la frecuencia de operación del rotor para ser enviada a un medidor de vibración. Un medidor de fase (ϕ_0) compara la señal del acelerómetro y la del sensor óptico para obtener el ángulo de fase entre estas dos señales.



Figura 13 Balanceo de rotor de prueba.

Una vez obtenidos los datos anteriores se procede a montar las masas de prueba (mp) en el rotor y se hacen las mediciones de vibración (A1) y velocidad del rotor (ω_1) para obtener el dato de fase (ϕ_1). Conjuntando los datos, es posible calcular la magnitud y la posición de la masa que debe tener la masa de corrección para el balanceo del rotor³⁴

	Instrumento Balanceador IRD Balancing 236				Aplicación Móvil Measure Vibration UTP			
	Plano 1		Plano 2		Plano 1		Plano 2	
	Magnitud (mils)	Ángulo (grados)	Magnitud (mils)	Ángulo (grados)	Magnitud (mils)	Ángulo (grados)	Magnitud (mils)	Ángulo (grados)
Lectura inicial	0.153	236.56	0.149	83.596	0.154	236.56	0.149	84.596
Lectura con peso y ángulo de prueba	0.196	186.53	0.160	220.63	0.195	186.53	0.161	220.63
Lectura Final con pesos de corrección	0.030	45.963	0.009	186.63	0.038	45.963	0.010	186.63

Tabla 1 Registro de lecturas para balanceo.

Conclusiones

Con base en el desarrollo y los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones, así como algunas de las futuras líneas de investigación y proyecciones alrededor de este trabajo.

1.- Se ha desarrollado una aplicación móvil para el diagnóstico y corrección de desbalanceo en elementos rotatorios, destinada para realizar actividades propias del mantenimiento industrial de manera fácil y precisa. Los datos han sido obtenidos a partir de sensores acelerómetros instalados en una maquina balanceadora horizontal de soportes flexibles de la firma IRD *Balancing*.

2.- Se compararon los resultados de las pruebas con la aplicación móvil y arrojaron que esta tiene una exactitud del 99% en su calidad correctiva de desbalance de elementos rodantes.

Proyecciones

Con este proyecto, la Universidad Tecnológica de Puebla podrá ofrecer servicios de análisis de vibraciones como parte del mantenimiento predictivo a empresas del ramo industrial como: papeleras, siderúrgicas, cementeras, ingenios azucareros, a un costo mucho menor en comparación a los que se ofrecen en el mercado nacional e internacional.

Visión

La visión del presente proyecto de investigación científica es su comercialización a nivel industrial ya que se ha demostrado que es una herramienta con robustez industrial y a un costo accesible. En el contexto académico como equipo didáctico para los institutos tecnológicos, universidades tecnológicas, politécnicas e instituciones afín fortaleciendo los programas de estudio de ingeniería.

Referencias

ISO1940-1. (2003). Mechanical vibration - Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state - Part 1: Specification and verification of balance tolerances.

Joshi, G. (2000). Vibration Condition and Energy Loss Monitoring: A case Study. Proceedings of Vibration Institute, 20.

Taylor, J. I. (2003). The Vibration Analysis Handbook: A Practical Guide for Solving Rotating Machinery Problems. VCI.

Proceso de diseño de una pieza de un horno de leña para autoconstrucción

GAYTÁN, Alfredo*†, CEBALLOS, Javier, LUGO, Eloina y VILLARREAL, Marco.

Recibido Abril 25, 2016; Aceptado Junio 22, 2016

Resumen

El uso de madera como combustible para elaboración de alimentos lleva al desarrollo de alternativas más eficientes para disminuir los graves efectos de la deforestación. En este artículo se presenta el proceso de diseño de una pieza para un horno hecho de ladrillo moldeado, el cual será de fácil armado ya que las piezas están catalogadas para un proceso de construcción de tal manera que al ensamblarlas tomarán la forma deseada, de esta forma una persona sin conocimientos de construcción será capaz de armar el horno. En un trabajo posterior se desarrollará un proceso de formado de los ladrillos que se transmitirá a las ladrilleras que forman parte de las comunidades aledañas para disminuir los costos de adquisición. El diseño es realizado en el software Solidworks® teniendo como resultado los planos para construcción de una de las piezas que formarán parte del horno.

Diseño, Fácil construcción, Planos dimensionales, Horno, Eficiencia

Abstract

The use of wood as fuel for food processing brings us to develop more efficient alternatives to reduce the severe effects of deforestation. This article describes the process design of a piece for a furnace made of molded brick which will be easily assembled because the parts are cataloged for assembly process so that the assembling will take the desired form, anyone without knowledge of construction will be able to assemble the oven, plus it aims to develop a process to build the bricks to be transmitted to the brick makers that are part of the surrounding communities to lower costs for purchase. The design is made in SolidWorks® resulting construction plans for a piece that form part of the furnace and the planes of the molds necessary for the construction of part.

Design, Easy construction, Dimensional plans, Furnace, Efficiency

Citación: GAYTÁN, Alfredo, CEBALLOS, Javier, LUGO, Eloina y VILLARREAL, Marco. Proceso de diseño de una pieza de un horno de leña para autoconstrucción. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 82-88

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: agaytan@upsrj.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El horneado es el uso del aire caliente para modificar la comestibilidad de los alimentos (Fellows, 2007). Además, dicho proceso no ha presentado cambios significativos en los últimos dos mil doscientos años, e incluso se considera un proceso artesanal (Cortés, Rojas, Aceves, Caldera, & García, 2013).

En la mayoría de las comunidades rurales del norte de Querétaro (Santa Rosa Jáuregui) la leña es utilizada para realizar el procesamiento de asado de los alimentos, este proceso consiste en utilizar una parrilla metálica en donde se quema la madera que directamente calienta el alimento teniendo merma calorífica considerable, en este trabajo se propone cambiar éste sistema por el uso de un horno de leña que propicie que con una menor cantidad del combustible se mantenga por más tiempo el calor y de esta forma se reduzca el consumo de leña. El alcance de este trabajo es el demostrar el procedimiento para obtener piezas para el horno utilizando el software solidworks que es especializado para el diseño de piezas, ensambles y dibujos, preparando el camino para que en una entrega posterior se obtenga un horno el cual pueda ser ensamblado de una manera sencilla, debido a que cada pieza tendrá una posición determinada que al ser ensamblada contribuirá para la formación de un horno, lo cual impactará en el proceso de manufactura, reduciendo en gran cantidad el riesgo de adquisición de enfermedades respiratorias y de piel, reportadas en el proceso de manufactura de este tipo de hornos (Enciso, Pacheco, Rivera, & Guerrero Useda, 2014).

Este trabajo está conformado por los antecedentes en donde se menciona en qué consiste el proceso de horneado y las características generales del software utilizado para el diseño.

Se presentará la clasificación de las piezas y la selección de una de ellas en donde se desglosará la metodología utilizada para generar la pieza y por último se presentará como resultado un plano con las especificaciones de la pieza seleccionada.

Antecedentes

El horneado y asado son esencialmente la misma operación (Fellows, 2007). El horneado implica una transmisión de calor y de masa simultáneamente como se muestra en la figura 1:

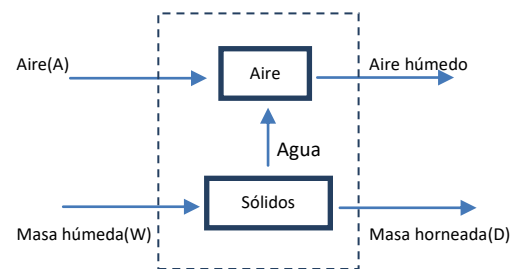


Figura 1 Diagrama de flujo de material durante el horneado (Fellows, 2007).

Se transmite calor al alimento desde las superficies calientes y el aire caliente en el interior del horno y se transfiere agua desde el alimento al aire circulante, eliminándose del horno posteriormente al salir a través de la chimenea colocada en la parte superior. El aire entra por la puerta, circula a través del horno y sale por la chimenea. El calor es transferido del horno a la superficie del alimento por radiación de las paredes calientes del horno y por convección del aire que circula a través del horno y ya sea por la bandeja usada para contener el alimento o por el piso del horno se presenta transferencia por conducción al calentarse y estar en contacto con el alimento (Fellows, 2007).

El diseño de la pieza se realizará en el software solidworks que es un software para diseño mecánico automatizado, es una herramienta de diseño paramétrico basado en operaciones que hace uso de la interfaz gráfica de usuario de Windows® (Gómez, 2010).

Este software está basado en operaciones entre las cuales incluye: extrusión, corte de extrusión, revolución, taladrados, recubrimientos, barridos, entre otras.

Objetivo

Presentar el proceso de diseño de una pieza de un horno aplicando operaciones en solidworks para obtener la base que formará un horno de leña.

Desarrollo

Nomenclatura para las piezas del horno de leña:

Primer dígito

P=Piso

B=Base

C=Cúpula

E=Entrada

Segundo Dígito

N=Normal

C=Con Corte

XX – XX – XX – XX

Nombre de la pieza – nivel – número de piezas
– número de pieza por nivel

Las piezas se clasifican como se muestra en la tabla 1 dando un total hasta el momento de 251 piezas para construir el horno, considerando que pudiera presentarse algún cambio de diseño provocado por la realización del prototipo, análisis de funcionamiento o cambio de capacidad.

	Nombre	nivel	cantidad	# pieza
1	PN	0	60	1
2	PC	0	4	1
3	PC	0	8	2
4	PC	0	8	3
5	PC	0	8	4
6	BN	4	83	1
7	BC	4	4	1
8	BC	4	4	2
9	CN	5	10	1
10	CC	5	1	1
11	CC	5	1	2
12	CN	6	12	1
13	CN	7	12	1
14	CN	8	12	1
15	CN	9	12	1
16	CN	10	1	1
17	EN	0	2	1
18	EN	4	8	1
19	EN	5	1	1

Tabla 1 Clasificación de las piezas del horno. Diseño propio.

El horno tendrá 10 niveles desde el piso hasta la pieza final en el techo, como se muestra en la figura 2.



Figura 2 Bosquejo del horno. Diseño propio.

La pieza seleccionada para mostrar el proceso de diseño será la pieza BN-0-83-1, que es una pieza que se ocupa desde el nivel 0 hasta el nivel 3 en lo que es la base del horno y de la cual son necesarias 83 piezas. Las dimensiones han sido establecidas para obtener un horno con un diámetro interno de 1 metro con una altura de la base de 25 cm una altura de base interna de 21 cm y altura central de .5 y una capacidad volumétrica de $0,30 \text{ m}^3$. Dicha geometría está con base a las investigaciones de Areiza Martínez, que estudia térmicamente el modelo (Areiza Martínez, 2014), y por otro lado, coincide con la optimización propuesta por Cortés y su equipo de investigación, que además caracterizaron las curvas térmicas (Cortés, Rojas, Aceves, Caldera, & García, 2013).

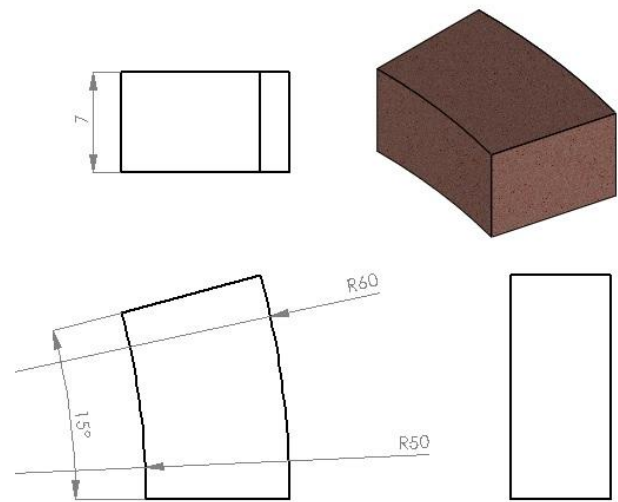


Figura 3 Dimensiones de la pieza BN-0-83-1. Interfase de dibujo en solidworks diseño propio.

El proceso de diseño de la pieza comienza con la generación de un croquis en el plano alzado en donde se formarán dos circunferencias concéntricas de 50 y 60 cm respectivamente, estas rectas serán cortadas por dos líneas radiales con 15° de apertura.

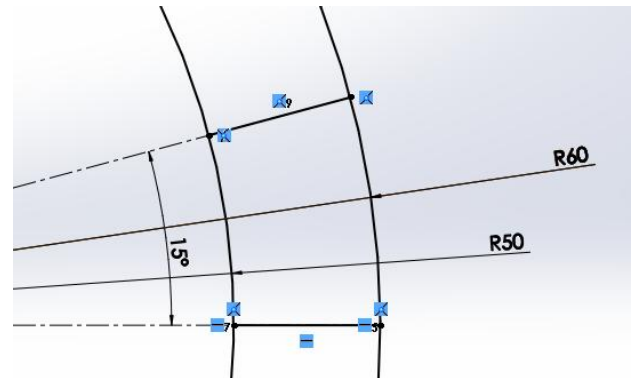


Figura 4 Modelado del contorno de la pieza. Interfase de Solidworks diseño propio.

Se procede a generar la extrusión del contorno de interés creando el volumen que fungirá como la pieza BN-0-83-1 para su uso posterior en el ensamble.

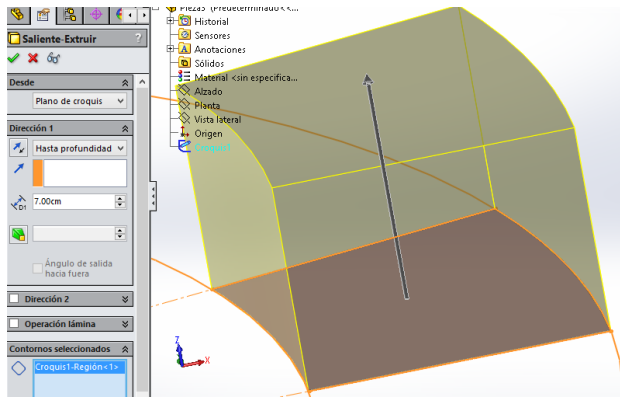


Figura 5 Extrusión del contorno de la pieza. Interfase de solidworks diseño propio.

Al aplicar la operación se obtendrá el volumen que representa la pieza catalogada como BN-0-83-1.

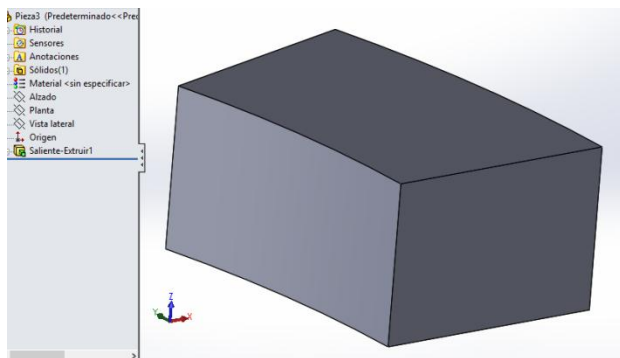


Figura 6 Pieza BN-0-83-1 terminada. Interfase de Solidworks diseño propio.

Una vez que se obtiene la pieza, se genera un ensamblaje y se inserta la pieza que al ser la primera, por definición de los ensamblajes de solidworks quedará fija en una posición inicial que se considera despreciable para efectos de ensamblaje, se aplica la operación de matriz circular tomando como eje de matriz la circunferencia definida por la arista interior de la pieza la cual está identificada con la cota de 50 en la figura 4, se fijan los parámetros con un ángulo de 360° y con 24 instancias ya que cada pieza ocupa un espacio de 15°.

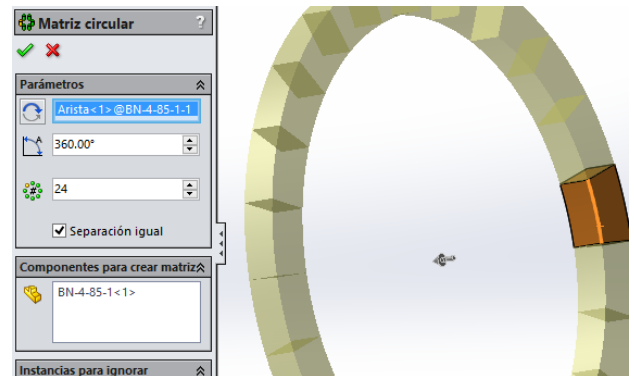


Figura 7 Aplicación de matriz circular a pieza BN-0-83-1. Interfase de ensamblaje de Solidworks, diseño propio.

Se inserta de nuevo la pieza BN-0-83-1 agregando las relaciones de posición. En primera instancia se agrega una relación de concetricidad entre la cara exterior de la nueva pieza y la cara exterior de una de las piezas previamente ensamblada.

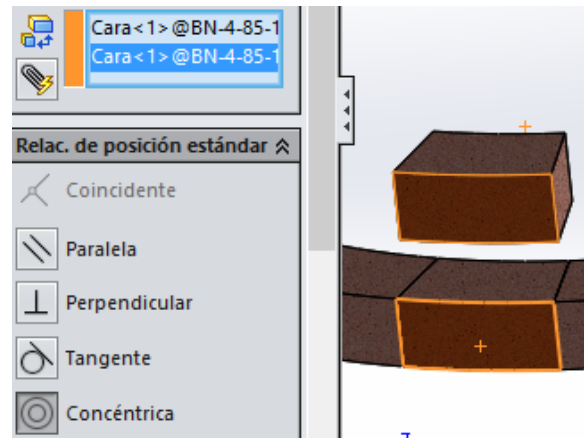


Figura 7 Aplicación de una relación de posición de concetricidad. Interfase de ensamblaje de Solidworks, diseño propio.

Se agrega otra relación de posición de coincidencia entre la cara inferior de la nueva pieza y la cara superior de la pieza previamente colocada.

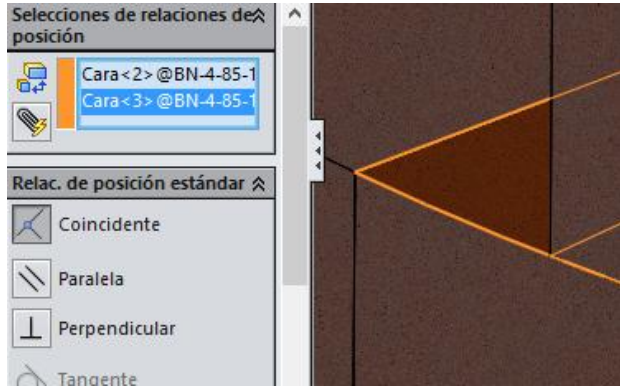


Figura 8 Aplicación de una relación de posición de coincidencia. Interfase de ensamblaje de Solidworks, diseño propio.

Colocar una relación de ángulo entre las aristas laterales de las piezas para traslaparlas una con respecto a la otra con un ángulo de 7.5°.

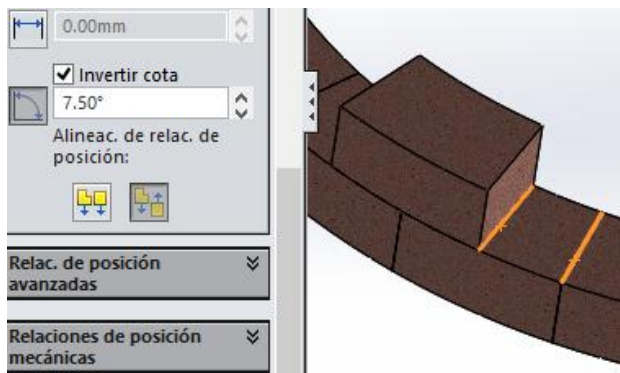


Figura 9 Aplicación de una relación de posición de ángulo a 7.5°. Interfase de ensamblaje de Solidworks, diseño propio.

Aplicar la operación matriz circular para hacer la copia de la pieza colocando en los parámetros un ángulo de 15° que es el que abarca cada pieza y 20 instancias para dejar el hueco de la puerta.

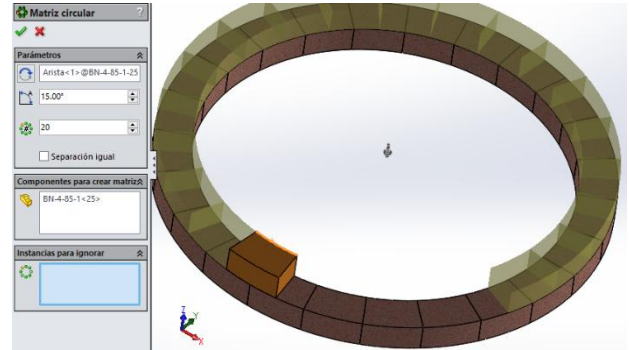


Figura 10 Aplicación de la matriz circular. Interfase de ensamblaje de Solidworks, diseño propio.

Se aplica una matriz lineal para acabar de formar la base del horno

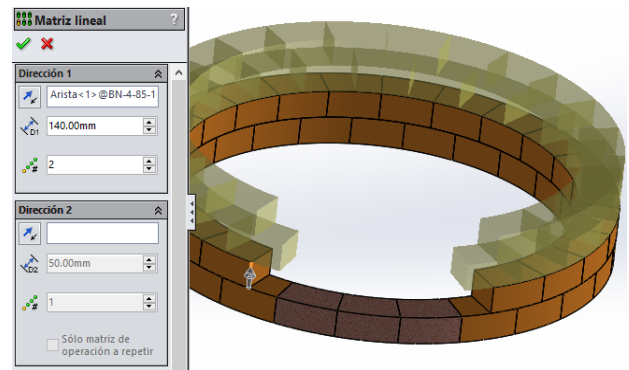


Figura 11 Aplicación de la matriz lineal. Interfase de ensamblaje de Solidworks, diseño propio.

A manera de recomendación se da la apariencia generada por arcilla común con un 20% de lodo de alto horno (mezcla de lodos de desecho reportados en procesos de fabricación por tabiqueras de altas masas de producción), ya que presenta mejores propiedades tanto en su proceso de fabricación como en comportamiento térmico experimental (Quaranta, y otros, 2008).

Resultados

Se obtuvo que el análisis de las dimensiones de la pieza fueron correctos al tener como resultado del ensamble el cierre perfecto de las piezas que forman la fila 0 y la consecuente formación de la base que soportará el conjunto de piezas ensambladas al terminar el horno.

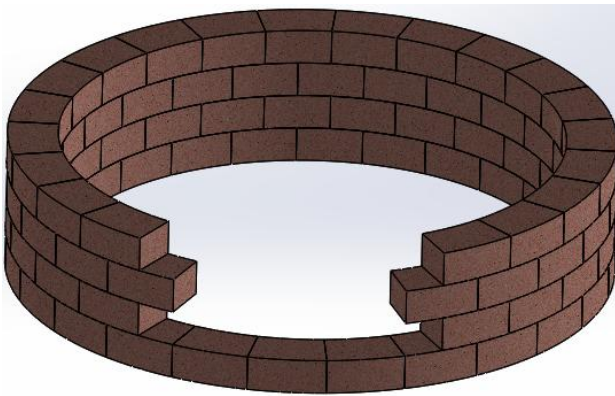


Figura 12 Ensamble de las piezas BN-0-83-1. Interfase de Solidworks diseño propio.

Conclusiones

El proyecto de la formación del horno se presenta con un buen inicio al conseguir el formado de la base a partir de la pieza BN-0-83-1, en donde en posteriores actividades se procederá a armar las siguientes piezas hasta conseguir el formado final del horno.

Referencias

Areiza Martínez, R. A. (2014). *Modelado, Simulación y desarrollo de un análisis de eficiencia energética en un horno ladrillero tipo bóveda en condiciones de estado estacionario*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

Cortés, O., Rojas, R., Aceves, R., Caldera, J., & García, C. (2013). Caracterización del perfil de temperaturas al interior de un horno artesanal para ladrillos, en vista de optimización del proceso. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook.*, 102-112.

Enciso, U. L., Pacheco, D., Rivera, D., & Guerrero Useda, M. (2014). Análisis de factores de riesgo e trabajadores de ladrilleras de Ubaté. *ideaproyectos*, 5-10.

Fellows, P. (2007). *Tecnología del procesado de los alimentos*. Isla de Mallorca: ACRIBIA S.A.

Gómez, S. (2010). *Solidworks*. México: Marcombo Alfaomega.

Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M., Pietri, L., & Velázquez, P. (2008). Caracterización de compactos cerámicos desarrollados a partir de arcilla común y lodos de alto horno. *CONAMET*.

Manipulación de un brazo robótico mediante señales electroencefalográficas

ESQUEDA-ELIZONDO, J*†, HERNÁNDEZ-MANZO, D, BERMUDEZ-ENCARNACIÓN, E, JIMÉNEZ-BERISTAÍN, L y PINTO-RAMOS, M.

Recibido Abril 5, 2016; Aceptado Junio 10, 2016

Resumen

Se presenta un sistema prototipo para el control de un mecanismo (brazo robótico) mediante el análisis de señales electroencefalográficas (EEG). Como plataforma de adquisición de datos se utiliza la diadema o headset EPOC Emotiv (Interfaz cerebro computadora), la cual mide la actividad eléctrica de la corteza cerebral. La señal EEG se envía de forma inalámbrica a una computadora, donde se procesa en Matlab® y se compara con patrones preestablecidos que representan movimiento a la izquierda y a la derecha. Para obtener los patrones, previamente se tomaron varios EEGs y se obtuvo el periodograma de cada toma de muestras y finalmente se obtuvo la potencia promedio medida por cada electrodo y de esa forma se pudo conocer cuales fueron los electrodos de más activos al pensar en izquierda y derecha. La señal medida se compara con el patrón establecido para detectar el sentido y una vez que se detecta si es izquierda o derecha, el programa envía una palabra de control a un procesador Edison conectado al puerto USB de la computadora, para que es lleve a cabo el movimiento del brazo en el sentido detectado.

EEG, Potencia, Patrón, Periodograma, Detección

Citación: ESQUEDA-ELIZONDO, J, HERNÁNDEZ-MANZO, D, BERMUDEZ-ENCARNACIÓN, E, JIMÉNEZ-BERISTAÍN, L y PINTO-RAMOS, M. Manipulación de un brazo robótico mediante señales electroencefalográficas. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 89-98

Abstract

A prototype system for controlling a mechanism (robotic arm) by analyzing electroencephalographic signals (EEG), is shown. The EEG signals are acquired with the EPOC Emotiv (brain computer interface) platform, which measures the electrical activity of the brain cortex. The EEG signals are sent wirelessly to a computer, where they are processed in Matlab® and compared with preset patterns that represent movement to the left and to the right. In order to obtain the patterns, several EEGs were taken and the periodogram of each case (left-right), then the average power of each electrode were obtained and thus know which were the electrodes of greater importance in the thought of left-right for the decision making movement based on the analysis of the signals. Once detected whether left or right option, the program sends a control word to a processor Edison connected to the USB port, which is responsible for moving the arm in the direction detected.

EEG, Power, Pattern, Periodogram, Detection

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jjesqueda@uabc.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La electroencefalografía (EEG) es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones basales de reposo, en vigilia o sueño, y durante diversas activaciones. Generalmente, la electroencefalografía se aplica para el análisis de la actividad eléctrica en el cerebro humano y con la información recabada se puede hacer un estudio a fondo del comportamiento del cerebro y esto ayuda a prevenir y descubrir enfermedades o trastornos, en efecto. Estas ondas cerebrales, conocidas como señales electroencefalográficas (EEG), proporcionan de manera indirecta información relativa a funciones del cerebro, como pueden ser tareas mentales, acciones motoras o expresiones faciales entre otras.

Actualmente, se han desarrollado interfaces cerebro computadora (BCI, Brain Computer Interfaces), las cuales son dispositivos que captan las señales eléctricas de la corteza cerebral de una persona, para posteriormente enviarlas a una computadora donde para su despliegue o su procesamiento, tal como se muestra en Esqueda Elizondo (2015) y Yaomane (2012). En la actualidad la investigación se ha extendido hasta lograr muestrear las señales del cerebro para buscar una posible solución a un problema específico.

Durante muchos años, una de las principales líneas de investigación acerca de este tipo de aparatos ha sido básicamente el procesamiento de las señales EEG para posteriormente poder extraer una serie de características (features) y así poder clasificarlas con distintos algoritmos.

Estos algoritmos permitirían transformar las señales EEG en algún tipo de comando o función, que puede ser usada para desarrollar una acción o comunicar algo y así mejorar la vida de personas que posean algún tipo de discapacidad motora (por ejemplo, personas tetrapléjicas) o del habla (por ejemplo, personas con trastornos del espectro autista).

En este trabajo se presenta un sistema experimental que convierte la actividad eléctrica generada a partir de las señales cerebrales que proporciona la BCI en el movimiento en una dirección, ya sea derecha o izquierda para convertirlo en el movimiento de un brazo manipulador. Se presenta el sistema prototipo mostrado en la figura 1, en el cual se emplean un sistema de un brazo robótico de dos grados de libertad, el Epoc Emotiv, la computadora y un microprocesador Edison. En esta propuesta se capturan las muestras, se procesan en MATLAB y finalmente se ejecuta la acción detectada, es decir, no se lleva a cabo en tiempo real.

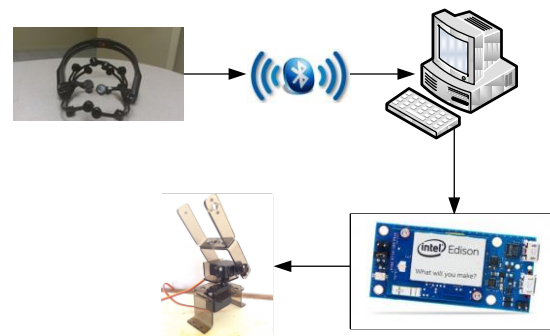


Figura 1 Diagrama a bloques del BCI propuesto.

Analizando la información que puedan proveer las ondas cerebrales, ésta puede ser interpretada y usada para controlar dispositivos electrónicos y así facilitar la vida a una gran cantidad de personas.

Entre las aplicaciones que se han conseguido en los últimos años, destaca principalmente la creación de algoritmos que permiten controlar brazos electrónicos utilizando solo el pensamiento y sin tener que llevar a cabo ningún tipo de movimiento físico. Otras tecnologías que se han conseguido desarrollar corresponden al movimiento del cursor de una computadora con tan solo pensar en la dirección en la cual se quiere mover dicho cursor, tal como lo muestra Alviarez Jorge (2011).

Adquisición de las señales encefalográficas

En la figura 2a se muestra la diadema (headset) EPOC utilizada y en la figura 2b se presenta la distribución de los catorce electrodos (canales), más dos electrodos que se utilizan como referencia. Los electrodos se distribuyen en la parte occipital, parietal y frontal de la cabeza, su nomenclatura indica la región de la misma donde están ubicados: frontal (F), central (C), parietal (P), occipital (O), temporal (T) y fronto-parietal (FP). En la figura 2b se muestra la posición de los electrodos de la diadema EPOC y Duvinage Matthieu (2012) presenta la comparación con la distribución de los electrodos de un encefalógrafo tradicional de 64 electrodos.

Hay que resaltar que los electrodos CMS y DRL son usados como referencia y que este equipo comercial es capaz de adquirir señales encefalográficas con muy buena calidad, tal como lo muestran Yaomanee Kridsakron (2012) y Duvinage Matthieu (2012). Asimismo, el headset tiene un ADC de 16 bits, con una resolución de $0.51 \mu\text{V}$ y descarta los dos bits menos significativos para minimizar los efectos del ruido instrumental.

La herramienta EPOC tiene una frecuencia fija de muestreo de 128 Hz (128 muestras por segundo, SPS), aunque de forma interna se sobremuestra a 2048 Hz por canal, pero este ancho de banda se usa para eliminar señales de muy alta frecuencia de otros aparatos que pueden generar alias a las señales del cerebro. Posteriormente, la señal es filtrada y reducida a un ancho de banda de 128 Hz para la transmisión inalámbrica, finalmente la señal se limita con un filtro digital (de 0.2 a 45 Hz) a un ancho de banda de 43 Hz para evitar interferencias de 50 y 60 Hz. En Esqueda Elizondo (2015 y 2014), se presentan los rangos de frecuencia en los que se clasifican las señales encefalográficas.

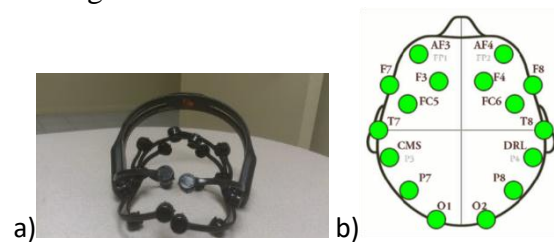


Figura 2 a) Diadema (headset) EPOC Emotiv y **2b)** la distribución de los electrodos en la cabeza

Algoritmos empleados

Las muestras obtenidas en cada prueba se procesan y analizan en Matlab, mediante una metodología basada en el Teorema de Wiener Khintchine, el cual permite encontrar la Densidad Espectral de Potencia, es decir, cómo se distribuye la potencia de la señal eeg en función de la frecuencia para cada electrodo, como lo presenta Esqueda Elizondo José Jaime (2015). De esta forma se puede determinar qué electrodos registraron mayor actividad, con lo cual se puede encontrar valores de potencias significativas que representen cada una de las opciones (izquierda o derecha). Asimismo, se puede determinar qué banda de frecuencia fue la más activa en cada hemisferio, electrodo o región (figura 2b).

Teorema de Wiener Khintchine

El Teorema de Wiener-Khintchine presentado por Proakis (2007) expresa que la Densidad Espectral de Potencia y la Correlación son pares Transformados de Fourier, es decir:

$$S_{xx}(f) = F[R_{xx}(\tau)] \quad (1)$$

$$R_{xx}(\tau) = F^{-1}[S_{xx}(f)] \quad (2)$$

Dónde $S_{xx}(f)$ es el autoespectro o Densidad Espectral de Potencia y $R_{xx}(\tau)$ es la Autocorrelación, ambas referidas a la señal $x(t)$.

Densidad Espectral de Potencia $S_{xx}(f)$

La Densidad Espectral de Potencia se calcula usando aplicando la ecuación (1) a la señal. Primero se calcula la Autocorrelación numérica de las N muestras con $N/4$ atrasos y de la muestra $N/4 + 1$ hasta $N-1$ se insertan ceros para lograr una interpolación en el dominio de la frecuencia, mejora la estimación. A la secuencia generada con los ceros insertados se le calcula la Transformada Discreta de Fourier (TDF) y el resultado es una nueva secuencia en el dominio de la Frecuencia de 7681 muestras, lo cual corresponde a un minuto de muestras, como lo presenta Esqueda Elizondo (2015)

Segmentación

Dado que se conoce de antemano la resolución de la Transformada Discreta de Fourier (TDF), es posible conocer los índices frecuenciales (localidades de memoria en el arreglo que contiene la TDF), se puede estimar entre qué localidades se almacena la DEP para cada banda. Por lo tanto, se separa o recorta la señal al tomar solo las localidades de memoria que definen a cada una de las bandas del espectro. Y el resto de las muestras se rellena con ceros para que no se afecte el número de muestras.

Autocorrelación $R_{xx}(\tau)$

De acuerdo a la ecuación (2), se puede obtener la autocorrelación de una señal a partir de la Densidad Espectral de Potencia al obtener la Transformada Discreta de Fourier Inversa. Por precaución se toma solo la parte real de la Transformada.

Potencia por banda

La potencia total de la banda se obtiene mediante una de las propiedades de la autocorrelación, la cual indica que la potencia total se encuentra en la muestra 1 del arreglo que contiene la autocorrelación calculada mediante el Teorema de Wiener Khintchine. Es decir, se aprovecha la propiedad de la autocorrelación: $P_T = R_{xx}(0)$. Nótese que si la señal no se recorta, se obtiene la potencia total.

Experimentos realizados

Para este experimento se trabajó con un adulto de 22 años para estudiar su actividad cerebral al pensar en una acción específica. De manera inicial se realizaron pruebas con seis personas de edad similar, pero no se lograron buenos resultados, por lo que se optó por cerrar el experimento a un solo sujeto de prueba.

El sujeto de prueba se sienta con el headset puesto, cerrando los ojos para mejorar su atención al experimento y también bloquear la vista a posibles estímulos visuales. Primero se graba una secuencia en reposo, posteriormente se le pide pensar en izquierda, se graba la señal y finalmente se repite el procedimiento con la derecha. De esta forma se obtienen las señales a partir de las cuales de determinarán los patrones de comparación. En una sección subsecuente se presenta con mayor detalle ambos casos.

Determinación de patrones

Durante esta investigación se realizaron algunas pruebas con métodos distintos para obtener la potencia de los electrodos, para así determinar la relación entre las muestras tomadas del sujeto de prueba y sólo se presentan las relevantes. La detección de patrones se obtuvo mediante el procesamiento de las señales EEG para obtener las potencias de cada uno de los electrodos, a través del promedio total de cada una de las muestras de los pensamientos (Izquierda-Derecha).

En las figuras 3 y 4 se muestra los electrodos con más actividad durante las pruebas realizadas con el pensamiento “Derecha”.

Al tratar de conseguir más exactitud en las pruebas tomadas se optó por hacer una separación de bandas en el espectro de las pruebas realizadas en el sujeto de prueba. Los resultados fueron similares al hacerlo con una sola potencia, la figura 3 muestra el comportamiento de los canales más activos.

Promedio de Potencias por canales

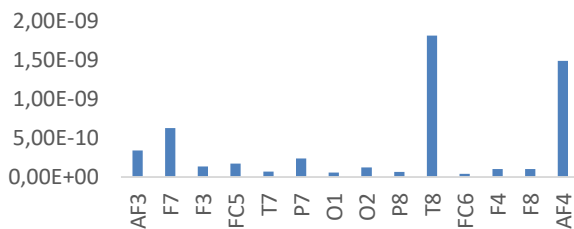


Figura 3 Comportamineto del promedio de potencias por canales.

En la Figura 4 se muestra la potencia promedio en cada banda de los distintos electrodos de la diadema. Se observa claramente que los canales más activos durante el pensamiento específico a la “Derecha” son F7, T8 y AF4, estos resultados son muy similares a los captados con potencia promedio total como se muestra en la Figura 9. Cabe destacar que a través de este método se encontró que el canal FC6 también tiene altos índices de actividad durante la muestra tomada.

La figura 5 indica las potencias por banda obtenidas al pensar en “Derecha” en una lectura particular. Al hacer una comparación de los resultados obtenidos y representados en forma de gráfica de potencias separadas por bandas en las figuras 4 y 5 se muestra que los electrodos con mayor actividad eléctrica son: F7, T8 y AF4, ya que su potencia es mayor visiblemente.

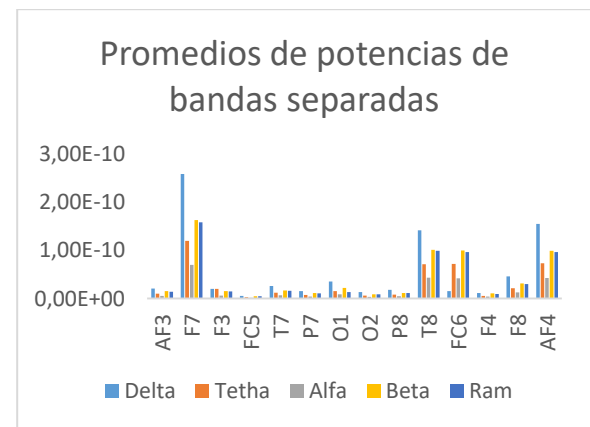


Figura 4 Potencia promedio de bandas separadas del pensamiento “Derecha”.

El tener bien definido los electrodos que registran la máxima actividad (potenica) ayuda a mejorar la detección de las señales que definen Izquierda y Derecha, con lo cual se pueden establecer los parámetros necesarios para diferenciar el pensar en un movimiento o en el otro y de esta forma traducirlo en el control del brazo mecánico.

Por lo que la separación de bandas, así como la toma de una sola potencia por canal son suficientes para poder identificar que canal tiene más actividad en un determinado tiempo, en este caso cuando se tienen pensamientos específicos.

Muestra particular

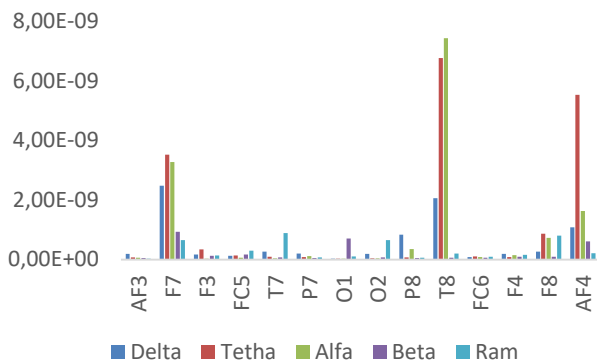


Figura 5 Potencia de bandas separadas del pensamiento “Derecha” en una sola muestra.

Toma de decisión

Una vez obtenidas las potencias para cada una de las tomas de muestras que se realizaron, se obtuvo la media y la desviación estándar de las lecturas. Primero se determinaron cuáles fueron los canales más activos al pensar con los ojos cerrados en “Izquierda” o “Derecha”. Se obtuvo asimismo el promedio de las potencias (media) y la desviación estándar de las potencias de cada uno de los electrodos más activos, tomando esto como punto de partida se llevaron dichas pruebas a un nuevo algoritmo que se describe en forma de diagrama de flujo en la figura 6.

En este algoritmo, se “Abre un puerto serial” para realizar la comunicación MatLab – Edison, después a partir de un comando se carga la grabación de las señales encefalográficas tomadas del sujeto de prueba, se obtiene la potencia del promedio de las muestras de cada canal significativo según este sea pensamiento “Izquierda” o “Derecha” y finalmente se compara con los rangos obtenidos de la desviación estándar en el procesamiento previo de los datos.

Sí el resultado está dentro del rango inferior y superior de dicha desviación se envía una señal al Intel Edison para girar 30 grados en la dirección del pensamiento, esperar 500 milisegundos y regresar a su posición original.

Manipulación del brazo robótico

La etapa electrónica encargada de ejecutar el movimiento del brazo robótico en función de la decisión tomada por el programa de Matlab está basada en el procesador Procesador Intel® Atom™ de doble núcleo a 500 MHz. Una vez que el programa de Matlab analiza los datos y toma una decisión, se envía a través del puerto usb un comando o palabra de control al procesador Edison, el cual la interpreta y manda la señal de activación de los servomotores HS-311 para que el brazo robótico gire en la dirección detectada. De esta manera se puede manipular el movimiento de izquierda y derecha del brazo robótico.

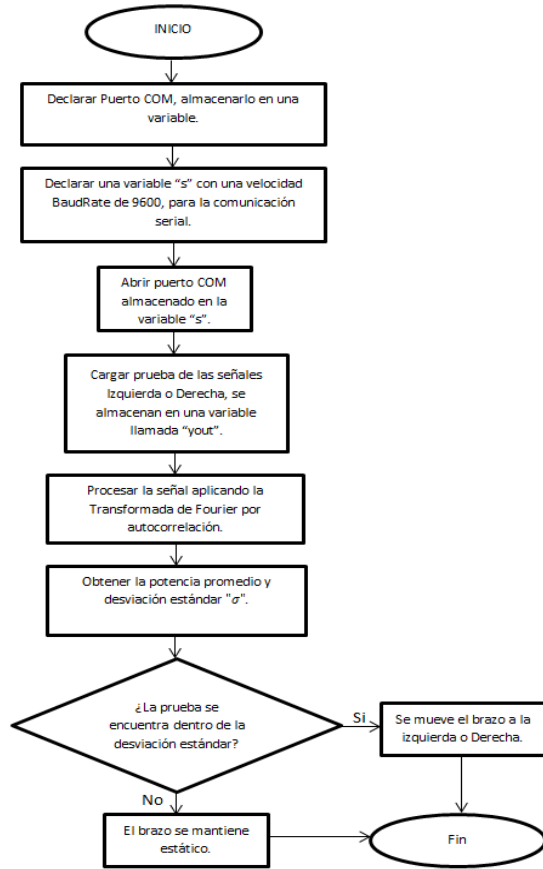


Figura 6 Diagrama de flujo del Algoritmo empleado para la toma de decisiones en el movimiento (EEG – Servo) y comunicación EPOC – Edison – Brazo robótico en MatLab®.

Cabe hacer mención que el brazo robótico de prueba cuenta con dos grados de libertad y sus servomotores HS-311 tienen una velocidad de operación de 0.19 sec/60° a 4.8 volts, y se presenta en la figura 7.

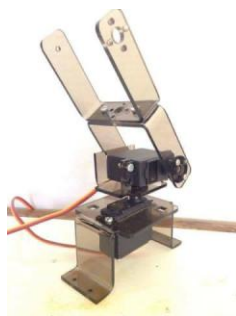


Figura 7 Brazo Robótico de dos grados de libertad con servomotores HS-311.

Resultados con pensamiento a la Derecha

En la figura 8 se utilizaron muestras con un tiempo de 10 segundos cada prueba. El eje horizontal corresponde a los diferentes electrodos (ver la figura 2) y el eje vertical corresponde a la potencia obtenida en Watts, del promedio de cada canal. Se observa que hay actividad predominante en los electrodos AF3, F7 y O1. En la Tabla 1 se muestra la potencia total en nano Watts medida por electrodo, observamos que el canal con mayor potencia es el O2.

PROMEDIO DE POTENCIA DE LOS ELECTRODOS

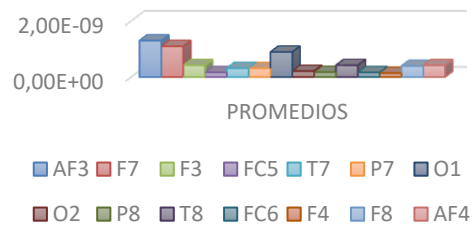


Figura 8 Resultado de potencia promedio por electrodo correspondiente a las 10 pruebas realizadas para el pensamiento derecho con una duración de 10 segundos cada una.

CANALES	Potencia Total (nW)	CANALES	Potencia Total (nW)
AF3	1.3	O2	2.08
F7	1.09	P8	.173
F3	.419	T8	.419
FC5	.67	FC6	.161
T7	.313	F4	.14
P7	.309	F8	.39
O1	0.89	AF4	.415

Tabla 1 Resultado de potencia promedio en nW por electrodo.

Resultados con pensamiento a la Izquierda

En la figura 9 se utilizaron muestras con un tiempo de 10 segundos cada prueba. El eje horizontal corresponde a los diferentes electrodos (figura 2) y el eje vertical corresponde a la potencia obtenida en Watts, del promedio de cada canal. Se observa que hay actividad predominante en los electrodos F7, T8 y AF4.

En la Tabla 2 se presenta la potencia promedio en nano Watts medida en cada electrodo, el canal F7 presenta mayor potencia respecto a los demás.

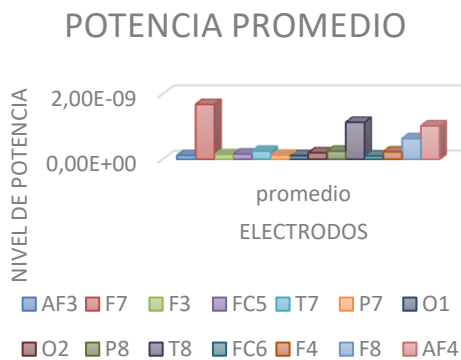


Figura 9 Resultado de potencia promedio por electrodo correspondiente a las 10 pruebas realizadas para el pensamiento izquierdo con una duración de 10 segundos cada una.

Canales	Potencia promedio (nW)	Canales	Potencia promedio (nW)
AF3	.113	O2	.195
F7	1.68	P8	.246
F3	.145	T8	1.13
FC5	.156	FC6	.098
T7	.248	F4	.228
P7	.125	F8	.633
O1	.111	AF4	1.02

Tabla 2 Resultado de potencia promedio en nW por electrodo del pensamiento izquierdo.

Experimentación con diferentes individuos

Esta actividad consiste en obtener señales de 6 diferentes sujetos de prueba que piensen en mover un objeto a la izquierda y a la derecha llevando a cabo la toma de señales con los ojos cerrados. Las muestras tuvieron una duración de 10 segundos cada una.

Posteriormente al hacer el procesamiento de las señales obtenidas, se observó que es difícil determinar qué canales presentan una potencia similar en todos los individuos, ya que los datos difieren significativamente y son muy dispersos. Por lo cual concluimos que no es factible emplear diferentes sujetos de prueba para encontrar un algoritmo que nos permita mover el brazo robótico para muchos usuarios de forma eficiente con esta metodología. Como muestra se presenta el cálculo de la coherencia del canal con mayor potencia O1, del sujeto de prueba 1 y el sujeto 2. En la siguiente figura se muestra que la coherencia no rebasa el 0.5, por lo cual no tienen la similitud necesaria. Esto implica que al comparar la potencia de la señal frecuencia a frecuencia no se encuentra parecido.

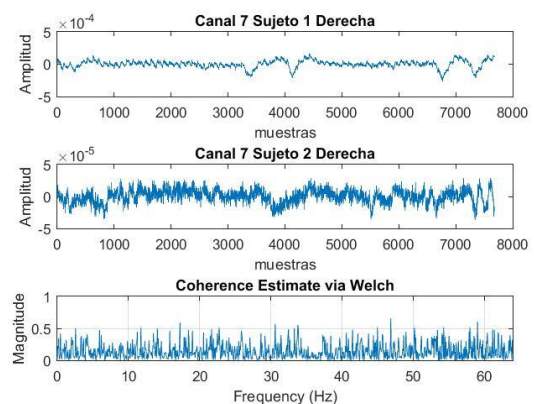


Figura 10 Resultado del procesamiento de coherencia de los sujetos de prueba 1 y 2 en el canal 7 correspondiente al electrodo O1.

Experimentos realizados

En la Tabla 3 se realizaron 14 pruebas a través de grabaciones, para comprobar la efectividad del algoritmo encontrado al pensar en izquierda, para la satisfacción obtenida, coherencia, se considero que porcentaje de la señal se ajustaba a las muestras pregrabadas, para comparar su similitud y así clasificarlas como izquierda y derecha.

Número de Prueba	Satisfacción Obtenida (%)	Número de Prueba	Satisfacción Obtenida (%)
1	30	8	45
2	65	9	23
3	20	10	65
4	40	11	78
5	38	12	41
6	27	13	87
7	56	14	25

Tabla 3 Resultado de las pruebas realizadas para la manipulación del brazo robótico al pensar en izquierda.

Conclusiones

El resultado obtenido fue lograr el movimiento de un brazo robótico mediante las señales encefalográficas generadas al pensar en una palabra específica. Lo cual puede ser un precedente que permitirá mejorar la calidad de vida de las personas con alguna discapacidad motora. En primera instancia, se intentó obtener estos patrones característicos que nos permitieran mover el brazo robótico en tiempo real, sin embargo durante el transcurso de la investigación se optó por procesar señales derivadas de cortas grabaciones, debido a que según las pruebas realizadas los patrones de cada individuo son diferentes.

No se encontró una regularidad entre los electrodos más activos, es decir, los electrodos no coincidían.

Gracias a esta investigación se concluyó que con el método inicial de experimentación usando diferentes individuos y recolectando muestras de las EGG en pruebas de 10 segundos por cada pensamiento “Derecha” o “Izquierda” los patrones obtenidos de las señales se presentaron muy dispersos e imposibilitaron la realización de un algoritmo exacto que nos permitiera a partir de la desviación estándar mover el brazo robótico con exactitud, sin embargo con las pruebas realizadas a un solo individuo se observó que las muestras arrojaban un patrón muy similar y ello permitió la ejecución de un algoritmo que moviera con precisión el brazo robótico.

Es por ello que en este trabajo se concluyó que convenía trabajar con un solo sujeto de prueba para disminuir el índice de incertidumbre en los resultados esperados. Asimismo, no es el mejor método, sin embargo se tuvieron resultados aceptables. A partir de esto se recomienda que para futuras aplicaciones se ejecute un algoritmo específico para cada tipo de persona o sujeto de prueba, así como explorar otras técnicas.

Agradecimiento

Se agradece al Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado del Pacífico por permitir la participación de alumnos de otras instituciones (Hernández Manzo Diana Saraí, Rivera Carreño Javier Alejandro, Gástelum León Marco Antonio, González Jiménez Gerardo Aldair, Mercado Velázquez Andrés Aharhel, Reyna Soto Alexis Omar) en proyectos de investigación. Asimismo, se agradece al Dr. César Ortega Corral de la Universidad Tecnológica Tijuana por aportar el procesador Edison, así como la asesoría técnica necesaria.

Referencias

Esqueda Elizondo José Jaime, Bermúdez Encarnación Enrique Guadalupe, Jiménez Beristáin Laura, Rojo Ramírez Yesenia, Ruiz Morales Angélica, Munguía Carrillo Paul Eriel, ZaragozaVilla José María. (2015). Análisis de Señales Electroencefalográficas en un niño con Autismo realizando diferentes actividades de aprendizaje. Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica. Mem. Electro, 37, 181-186.

Kridsakron Yaomane, Seth Pan-ngum, Pasin Irasena Na Ayuthaya, "Brian Signal Detection Methodology for Attention Training using minimal EEG channels", 2012 tenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 2012

Jorge Alviarez, Diego Cid y Mario Ogalde. (10 Marzo 2011). Lifeware: Tres jóvenes que ayudan a discapacitados a usar un PC con la mente. 25 JULIO 2016, de FayerWayer Sitio web:

<https://www.fayerwayer.com/2011/03/lifeware-tres-jovenes-que-ayudan-a-discapitados-a-usar-un-pc-con-la-mente/>

Matthieu Duvinage, Thierry Castermans, Thierry Dutoit, M. Petieau, T. Hoellinger, C. De Saedeleer, K. Seetharaman, and G. Cheron, "AP300-Based quantitative comparison between the Emotiv EPOC headset and a medical EEG device," in Proc. Biomedical Engineering, track 764-071, February 15-17, 2012

José Jaime Esqueda, Laura Jimenez Beristain, Roberto Alejandro Reyes Martinez, Adan Camacho Perales, Eugenio Mena Quevedo, Jesus Alberto Roque Sandoval, "Metodología para el análisis de señales encefalográficas en actividades lúdicas", Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2014
John G. Proakis. Dimitris D. Manolakis 2007. Digital Signal Processing principles, Algorithms, and applications, Prentice Hall /pearsoni.s.b.n. 0-13-187374-1.

Rodríguez Bermúdez, Germán et al. Adquisición, procesamiento y clasificación de señales EEG para diseño de sistemas BCI basados en imaginación de movimiento, VI Jornadas de introducción a la investigación de la UPCT, abril 2013, nº 6, 10-12 p. ISSN: 1888-8356

Análisis y propuesta de sistema de secado solar para Junco en la comunidad Kumiai en San José de las Zorras B. C

CARMONA, Karla*†, JUÁREZ, Marco, BALDERAS, Silvia y TEÓN, Argelia.

Recibido Abril 13, 2016; Aceptado Junio 1, 2016

Resumen

La Universidad Tecnológica de Tijuana a través de las carreras de Ingeniería en Tecnología Ambiental y Procesos Industriales llevó a cabo un diagnóstico del proceso productivo realizado en la comunidad Kumiai para la elaboración de las artesanías, las cuales forman parte tanto de su sustento económico así como de su cultura. Dentro de la evaluación del proceso, una de las áreas que sobresale como oportunidad de mejora es el proceso de secado del junco, el cual actualmente se realiza de manera manual tendiendo el junco al piso para secar directamente al sol y se levanta diariamente al ocultarse el mismo, este proceso de secado varía de cinco a seis meses dependiendo de las condiciones ambientales de la región, es por ello que se realiza un análisis al proceso actual para proponer un sistema de secado que permita reducir el tiempo sin afectar sus características físicas finales, este proyecto se llevó a cabo en la comunidad Indígena Kumiai en San José de las Zorras, Ensenada, Baja California.

Junco, Artesanías, Kumiai, Secador solar, Sustentable

Abstract

The Technological University of Tijuana through the Engineering and Environmental Technology Process careers, conducted a diagnosis of the production process, performed in the Kumiai community for the manufacture of handicrafts, which are part of both their financial support as well as your culture. In the evaluation process, one of the area that shows as an opportunity for improvement is the drying process the junco, which is currently made manually tending the junco to the plant to dry in direct sunlight and lifting every day to hide it, this drying process varies from five to six months depending on environmental conditions in the region, which is why an analysis of the current process is performed to propose a system that reduces the drying time without affecting their final physical characteristics, this project was carried out in the Kumiai indigenous community in San Jose, the Vixens, Ensenada, Baja California.

Junco, Crafts, Kumiai, solar dryer, Sustainable

Citación: CARMONA, Karla, JUÁREZ, Marco, BALDERAS, Silvia y TEÓN, Argelia. Análisis y propuesta de sistema de secado solar para Junco en la comunidad Kumiai en San José de las Zorras B. C. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 99-106

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: karla.carmona@uttijuana.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La comunidad indígena Kumiai está localizada en San José de la Zorra, un pequeño valle situado entre el lugar antiguo de la misión de San Miguel en la Costa Pacífico y el Valle de Guadalupe. Así como en la mayoría de las comunidades, los residentes de los ranchos están diseminados sobre un área extensa, cerca de fuentes de agua permanentes. La baja altitud y la proximidad relativa a la costa, se combinan para crear un clima templado donde se reúnen los bosques de encino, chaparral y pastizales. Una de las actividades económicas relevantes de la comunidad, es la elaboración de artesanías, que es elaborada principalmente por las mujeres, la cual forma parte del sustento de la economía familiar. Actualmente, realizan su trabajo con tiempos prolongados debido a la naturaleza del producto, extendiéndose por períodos hasta de seis meses. De acuerdo al análisis realizado en su proceso productivo, la etapa que demanda mayor cantidad de tiempo es el secado de su materia prima, el junco y el sauce, la cual puede ser hasta de seis meses en invierno. Por lo cual, la propuesta de un secador solar, tiene impacto en este rubro, al disminuir el tiempo de secado y dar oportunidad de entrega de sus artesanías en menor tiempo, y por ende que su ingreso económico sea con mayor frecuencia.

Actualmente esta comunidad indígena Kumiai ha quedado reducida a un pequeño núcleo estimado de 200 personas, concentradas en tierras comunales. Se le denomina con este nombre al poblado ya que Perjau significa zorra en lengua Kumiai y los misioneros lo complementaron con San José.

Las actividades preponderantes son: la elaboración de cestos de junco y rama tierna de sauce para su comercialización, esta artesanía es hecha por las mujeres, y los hombres se dedican al trabajo en el campo.

Hoy en día muchos miembros de la comunidad trabajan en las casas vitivinícolas del Valle de Guadalupe, en los campos agrícolas del Valle de Ojos Negros, como vaqueros o granjeros o en la elaboración y venta de artesanías tales como canastas de sauce o junco.

Una parte importante de la economía de San José de la Zorra es la elaboración de artesanías, primordialmente por mujeres, estas artesanías son elaboradas con recursos naturales que se encuentran dentro de la comunidad, tal es el caso del junco, sauce y salvia.

El junco crece en lugares húmedos para su maduración debe contar con 8 a 10 meses, desafortunadamente los cambios climatológicos han afectado los arroyos en San José de la Zorra, lo que ha provocado la escasez del junco. Una vez cortado, se transporta hasta los lugares de secado, se extiende sobre el piso para aprovechar los rayos del sol de 10:00am a 4:00pm, este proceso tarda de 3 a 4 meses dependiendo el clima. En invierno este proceso tarda hasta 6 meses. Para poder trabajar el junco debe adquirir un color amarillo y estar perfectamente seco.



Figura 1 Junco seco.

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

Actualmente en la comunidad San José de la Zorra la actividad de elaboración de artesanías inicia con el proceso de corte de Junco. El corte del material de mejor calidad (sin manchas originadas por la presencia de hongos y/o mordidas de pequeños animales) se sugiere realizarlo en las zonas alejadas de las orillas y de los islotes de lodo ya que éstos son originados por descargas de materia orgánica como aguas negras cerca de las orillas. De manera tradicional, el corte se realiza en noche de luna llena debido a que realizarlo en otro momento genera junco quebradizo o difícil de manejar, se seleccionan alrededor de 10 piezas de cada planta para asegurar que la planta continúe creciendo y no se vea afectada por el corte, posteriormente inicia el proceso de secado durante el cual el artesano debe cuidar el material por alrededor de 3 a 4 meses dependiendo de las condiciones ambientales llegando a tener que secar el junco hasta 6 meses en invierno. El método actual consiste en secado al aire libre extendiendo el junco diariamente de diez de la mañana a las cuatro de la tarde aproximadamente ya que no se tiene un método exacto, durante este tiempo se debe cuidar de la lluvia, de los animales domésticos y de la humedad, por lo que se convierte en un proceso laborioso y demandante de atención, es en esta etapa del proceso donde se trabaja para reducir el tiempo de secado al menos un 50 % del tiempo mediante la técnica de secador solar.

Existen diferentes métodos de secado y un mayor número de modificaciones de los mismos. El método escogido depende del tipo de alimento que se va a deshidratar, el nivel de calidad que se puede alcanzar y el costo que se puede justificar. Existen entre los métodos de secado por convección del aire, secadores de tambor o rodillo y secadores al vacío.

Algunos de estos sirven para alimentos líquidos y otros para sólidos, cada uno de estos métodos tiene un número mayor de variantes que se ajustan a las necesidades de volúmenes y características de productos finales. (Universidad Nacional de Colombia, 2002).

El secador que se propone es el de tipo domo como se observa en la imagen 2, debido a que permite colocar el junco de manera similar a la que se coloca en el método anterior, con este secador se espera una reducción en el tiempo de secado de al menos 50%, el sistema propuesto protege también el junco de la humedad de la noche por lo que no será necesario estar sacando el junco del secador cada día, otra de las características del método propuesto es que permite proteger el producto de animales que pudieran dañar el mismo.



Figura 2 Secador tipo domo.

El secador solar tendrá las siguientes características:

Dimensiones:

Largo del secador	118 cm
Diámetro de cúpula	50 cm
Ancho	63 cm

Capacidad		143 juncos en una cama
Capacidad estimada	anual	143 x 12 = 1716 juncos anuales

Ventajas

- El tiempo de secado del junco es más rápido.
- Acelera el proceso de elaboración de las artesanías logrando una reducción en el tiempo total.
- Está protegido de los insectos o cualquier otro animal que pueda comerlo.
- Puede mantenerse toda la noche sin que genere humedad.
- Puede aprovecharse el calor del sol por más tiempo.
- El costo de elaboración es factible.
- Se puede elaborar con material reciclado.

El junco crece en lugares húmedos para su maduración, debe contar con 8 a 10 meses, desafortunadamente los cambios climatológicos han afectado los arroyos en San José de la Zorra. Otro factor que influye en este problema es que al momento de recolectar el junco no se está reforestando el área y trae como consecuencia que las personas de la comunidad se desplacen distancias muy largas para poder conseguirlo. Se cuenta con invernaderos que se han realizado por proyectos de ayuda a la comunidad, pero debido a la falta de ingresos es difícil mantener su operación.

Uno de los puntos negativos es que las mismas personas acuden a rancherías cercanas o a otras comunidades a comprar junco.

Una vez cortado el junco se transporta hasta el lugar de secado, se extiende sobre el piso bajo los rayos del sol de 10:00 am a 4:00 pm para que se lleve a cabo el trabajo de secado, este proceso tarda de 3 a 4 meses dependiendo el clima, en invierno este proceso tarda hasta 6 meses, esto ocasiona tiempos de elaboración de sus artesanías muy largos y falta de material para cubrir pedidos en tiempo.

Hipótesis central

El secado solar de junco disminuirá 50 % el tiempo empleado en secar el junco (producto) y aumentará la cantidad de la materia prima(junco seco) disponible para elaborar **cestería** sin cambiar sus características principales, como son: humedad, resistencia, color y fácil maleabilidad de su tallo, lo que generará una mejora en la economía de la comunidad Kumiai de San José de la Zorra.

Desarrollo

Para la problemática del secado del junco se realizó un secador solar para poder disminuir el tiempo que es de 4 a 6 meses en su forma tradicional a 1 mes con el prototipo.

Se tomaron en cuenta los principios básicos del secado por radiación solar, el cual genera más calor dentro el secador, tiene una entrada de aire fresco, el calor que se genera por medio del sol hace que ese aire se caliente, esto provoca que el junco elimine la humedad considerablemente más rápido que en su proceso de secado tradicional ya que la temperatura que se concentra dentro del secador es mayor a la temperatura ambiental.

Se realizaron visitas a la comunidad Kumiai con el objetivo de recabar información relacionada con el proceso de secado del junco, obteniendo lo siguiente:

Tiempo de secado tradicional: 4- 6 meses

Problemas principales Cuidado diario, riesgo de que los animales dañen, humedad en el junco, cuidado frecuente.

Dentro de las características que debe tener el junco se tiene: Color amarillo el cual corresponde por pruebas de laboratorio a un 6% de humedad, el junco se aprecia como en la figura 3.



Figura 3 Junco seco.

Se realizaron dos prototipos que permitieran evaluar el desempeño del junco al colocarlo en el secador solar, al inicio del proyecto se realizó un primer prototipo a escala elaborado con material reciclado



Figura 4 Prototipo inicial de secador.

Se realizaron pruebas de secado y se obtuvieron en 3 semanas un producto color amarillo y seco, el cual se presentó a los artesanos de la comunidad Kumiai con el objetivo de recibir retroalimentación respecto al producto, la respuesta fue positiva por lo que se planteó la elaboración de un prototipo de mayor tamaño para evaluar el desempeño creando el siguiente secador:



Figura 5 Prototipo de secador número dos.

El prototipo cuenta con las siguientes características:

Largo máximo de junco a secar 71.5 cm

Ancho del secador solar 63 cm

Largo del secador 118 cm

Diámetro 50 cm

Capacidad de secado Ancho 63 cm / 0.44 cm de diámetro del junco considerando un espacio de separación entre juncos = 143 juncos en una cama

Capacidad anual estimada = $143 \times 12 = 1716$ juncos anuales

Posterior a la elaboración del prototipo se realizaron las pruebas con el junco tomando en consideración sus características tales como medidas y calibre del junco muestra.

En la tabla anterior 1 se observa la variación natural que tiene el junco en cada pieza N, se tomó el calibre en 3 puntos (parte inferior, media y superior)

Medida del Junco dentro del Secador Solar (cm)		Calibre del junco (mm)		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
N.1	81	2.48	2.48	2.51
N.2	72	2.20	2.27	2.49
N.3	58	2.58	2.51	2.21
N.4	49	1.92	1.92	2.21

Tabla 1 Junco secado en el secador solar.

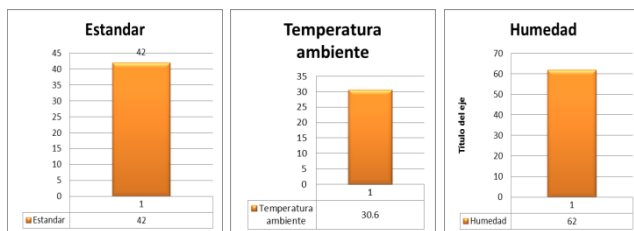
Se compara con muestras con el método tradicional.

Medida del Junco secado a temperatura ambiente (cm)		Calibre del junco (mm)		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
N.1	78	1.87	2.30	2.28
N.2	61	1.63	1.24	2.05
N.3	79	2.20	1.94	1.72
N.4	94	2.91	2.55	2.22

Tabla 2 Junco secado con el método tradicional.

Se realiza un monitoreo de la temperatura y humedad debido a que están relacionadas con el tiempo de secado obteniendo lo siguiente: temperatura dentro del secador, temperatura ambiental, humedad ambiental

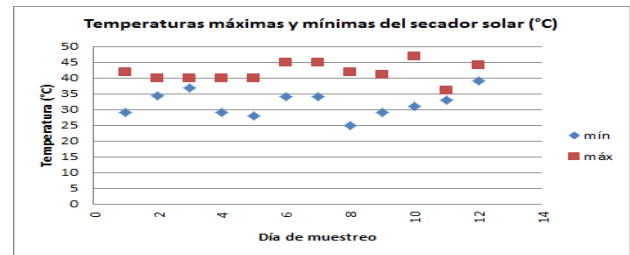
Resultados promedio en las pruebas:



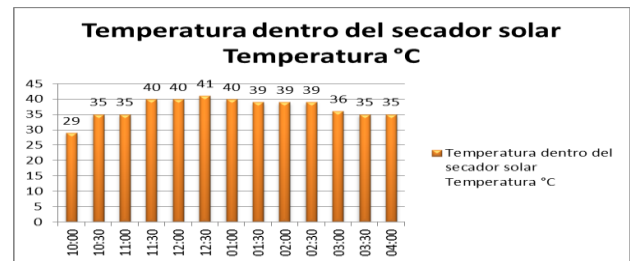
a) b) c)

Gráfico 1. a) Temperatura Estándar°C b) Temperatura ambiente °C. c) Humedad relativa. %

Se tiene una temperatura promedio estándar de 42 grados centígrados dentro del secador, que como se puede apreciar supera a la temperatura ambiente de 30.6 grados en promedio con una diferencia de 11.4 grados, tomando en consideración una humedad relativa de 62%, con esto se espera una reducción en el tiempo de secado y mantener las características de calidad del producto de acuerdo a lo requerido por los artesanos. Durante el desarrollo de la prueba se estuvieron monitoreando las variables de temperatura y humedad las cuales se comportan de la siguiente manera: El gráfico muestra el comportamiento de la temperatura durante 12 días de muestreo, en el cual se observa que se alcanzan temperaturas de 47 °C, y se registran temperaturas ambiente entre 22 y 29 °C, es decir dentro del prototipo la temperaturas en promedio es 10°C más que la temperatura ambiente.



Gráfica 2 Temperaturas



Gráfica 3 Temperatura dentro del secador. Creación propia.

El monitoreo de temperatura se lleva a cabo durante las horas en que los artesanos secan el junco con el método tradicional de secado al medio ambiente, la máxima temperatura se observa dentro del intervalo de 11:30 am a 2:30 pm como se observa en la gráfica anterior

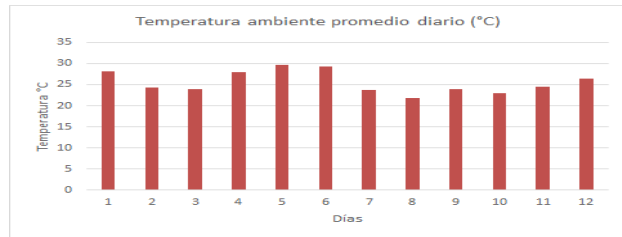


Gráfico 4 Temperatura ambiente promedio. Creación propia.

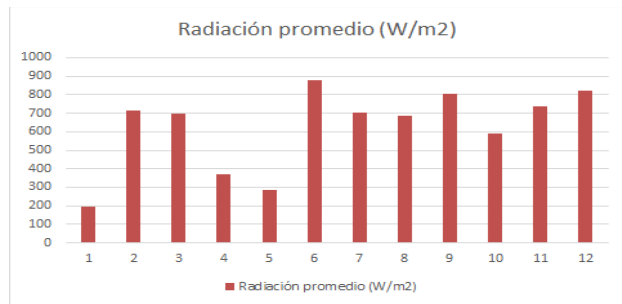


Gráfico 5 Radiación promedio. Creación propia.

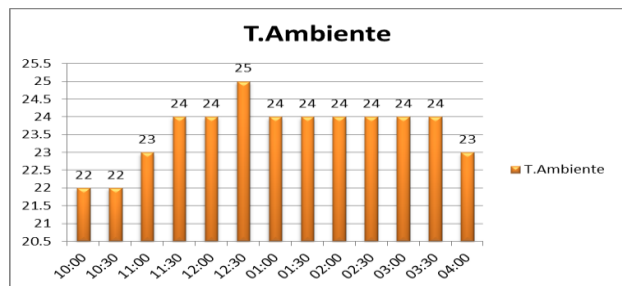


Gráfico 6 Temperatura ambiente °C. Creación propia.

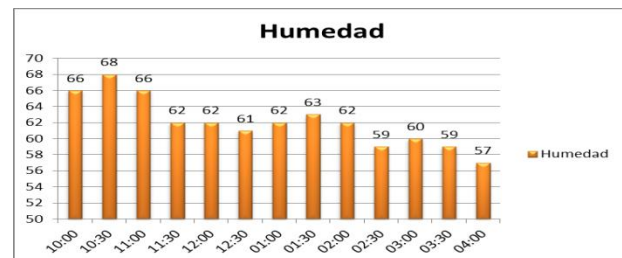


Gráfico 7 Humedad

La humedad varía de 57 a 68% este dato es relevante debido a que a mayor humedad relativa el tiempo de secado puede aumentar.

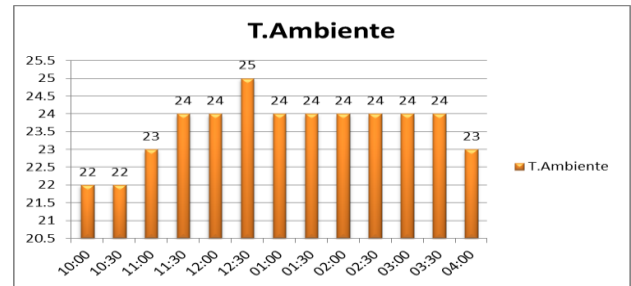


Gráfico 8 Temperatura ambiente °C.

La temperatura ambiente tiene un máximo de 24°C entre las 11:30 y las 15:30 hrs

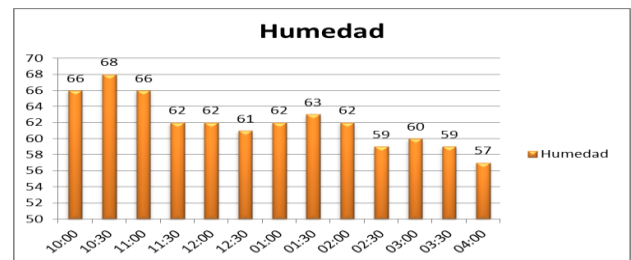


Gráfico 9 Humedad

Resultados

Después de mantener el junco durante 4 semanas dentro del secador y observar que el color del mismo cambio de verde a amarillo se sacaron las muestras del secador para la realización de las pruebas de humedad, debido a que es el indicador a utilizar para medir la calidad del secado, se obtuvo lo siguiente: Se realizó una prueba de humedad a la muestra de junco para determinar qué porcentaje debe tenerse para poder trabajar el junco.

Para la realización de la prueba se requirió lo siguiente:

Peso de la muestra = 0.190 g

Materiales	
Materiales	Cantidad
Horno a 100 °C	1
Pinzas	1
Balanza digital	1
Vidrio de reloj	1
Desecador	1

Crisol = 49.88 g

Se pesa la muestra antes de realizar la prueba.

El crisol después de ser pesado en la báscula se mete al horno a 105 °C 2 horas para que tenga un peso constante. Pasando el tiempo establecido es colocado en el desecador para eliminar la humedad del crisol. Y así mantener su peso constante se coloca 5 min. Se pesa para verificar que su peso es constante. Peso del Crisol = 49.88 g es constante.

Referencias

Sector Energía Solar. (2015). *Programa Innovación Orientada*. Ciudad de México, México: Gacela.

Almada, M., Cáceres, M., Machaín-Singer, M., & Pulfer, J. (2005). *Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Asunción, Paraguay: Comunicación visual.

Alvarez, M. (2007). *Estanques y jardines acuáticos*. Buenos Aires, Argentina.

Caja Madrid obra social. (2006). *Guía de la energía solar*. Madrid, España: Industrias gráficas El instalador, S. L.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org>

López, J. C., & Mitjá, A. (2002). *Energía solar: el recorrido de la energía*. Madrid, España: E.i.S.E. Domènech, S.A.

Soluciones prácticas. (2008). *Secado solar*. Perú: Soluciones prácticas.

Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+

CHÁVEZ-SAENZ, Velia*†, TORRES-RAMÍREZ, Dulce, HERRERA-OGAZ, José y HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Audiel.

Recibido Abril 28, 2016; Aceptado Junio 1, 2016

Resumen

En el presente artículo se muestra el procedimiento para la adquisición de señales electroencefalográficas, utilizando el dispositivo comercial Emotiv® EPOC+. La metodología aplicada consiste en realizar pruebas en 10 sujetos mediante una propuesta de entrenamiento utilizando estímulos visuales y auditivos, con el propósito de visualizar los distintos tipos de comportamientos en las señales adquiridas a través de los 14 canales del dispositivo. Una vez aplicado el estímulo, se analiza el comportamiento de las señales en el electroencefalograma obtenido y se sesga la señal con mayor excitación para realizar un estudio con base en la amplitud y así determinar qué tipo de estímulos generan mayor excitación. Como resultado, se presentan los distintos patrones identificados, así como las lecturas de amplitud de las señales.

Interfaz	Cerebro	Computador,	Señales
Electroencefalográficas,		Emotiv	EPOC+,
Electroencefalograma			

Abstract

On this article, the procedure of acquiring the signals is addressed, using the commercial device EMOTIV EPOC+. The methodology consists of tests in 10 subjects with a proposal for training using visual and auditory stimuli, in order to display the different types of behaviors in the acquired signals through the 14 channels of the device. Once applied the stimulus, the signal behavior is analyzed in the electroencephalogram obtained and the signal with major excitement is skewed to conduct a study based on the amplitude and determine what kind of stimuli generate more excitement. As a result, various patterns identified and readings signal amplitude is presented.

Brain computer interface, electro- encephalographic signals, Emotiv EPOC+, Electroencephalogram

Citación: CHÁVEZ-SAENZ, Velia, TORRES-RAMÍREZ, Dulce, HERRERA-OGAZ, José y HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Audiel. Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC+. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-7: 107-118

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: velia_chavez@utcj.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El comportamiento del ser humano así como el de sus órganos, siempre ha sido objeto de estudio, es por eso que se puede inferir que el cerebro es uno de los órganos más importantes por su funcionamiento como unidad de control central y de proceso de datos del ser vivo. El interés por el funcionamiento de este órgano vital, ha crecido progresivamente en las últimas décadas debido a la complejidad de las funciones que realiza y a los adelantos logrados en los diferentes equipos de diagnóstico cerebral.

Para analizar el comportamiento del cerebro, es necesario medir la actividad que presenta ante distintas situaciones. Para esto existen distintas técnicas y dispositivos que en conjunto, permiten adquirir ese tipo de información. Una interfaz cerebro computador (ICC) o por sus siglas en inglés, *brain computer interface* (BCI), permite establecer una comunicación con una computadora a partir de actividad eléctrica cerebral sin la necesidad de ayuda de los nervios periféricos o de la actividad motora. Una vez adquirida la información, es necesario aplicar técnicas para el análisis de los datos.

El desarrollo de sistemas con la capacidad de adquirir y analizar las señales electromagnéticas emitidas por el cerebro, resulta bastante prometedor, debido al impacto que puede causar en personas con discapacidades motoras. Utilizar sistemas de este tipo, brindan la capacidad de controlar dispositivos, con tan solo el hecho de pensarlo.

En consecuencia, estos sistemas proponen mejorar la calidad de vida de este tipo de personas, dado que al utilizarlos se podría incrementar el nivel de independencia al realizar tareas como el control del cursor de una computadora, manejar una silla de ruedas y hasta controlar un automóvil (Chávez, Ramos, & Domínguez, 2014).

La propuesta en este artículo, es realizar una adquisición de señales electroencefalográficas (EEG) utilizando el dispositivo comercial Emotiv EPOC+, contribuyendo con un método de entrenamiento en el cual se presenta un estímulo visual y auditivo al usuario para que las señales se estabilicen y posteriormente presentar un estímulo visual para analizar el comportamiento de las señales, esto con el fin de sesgar aquella con mayor excitación y determinar el rango en micro voltios (μV) de su comportamiento.

El problema central, es la variación en el comportamiento de las señales dependiendo el usuario al cual se esté aplicando la prueba. Para tratar de generar patrones y así estudiar distintos casos, se aplicaron pruebas a una muestra de 10 personas. La hipótesis de esta investigación se centra en que: al presentar un estímulo visual asociado a una dirección específica, por ejemplo, una flecha apuntando a la derecha, el usuario relacionará este estímulo al realizar un movimiento a la derecha y así obtener al menos una señal que tendrá un comportamiento distinto a las demás.

Los estímulos visuales utilizados específicamente fueron: una flecha con dirección hacia arriba, hacia abajo, hacia la izquierda y hacia la derecha.

Este documento está organizado de la siguiente manera. Se comienza con un marco conceptual para definir los términos que serán utilizados a lo largo del documento. Posteriormente se presenta la selección de una muestra de la población donde se describen los detalles de los sujetos de prueba. Seguido a esto, se presenta el software utilizado para adquisición y análisis de las señales. En la siguiente parte se presenta la conexión con el dispositivo y seguido a esto las pruebas realizadas comenzando con la de relajación y después las pruebas con estímulos visuales. Para cerrar se presentan los agradecimientos, conclusiones y bibliografía.

Marco Conceptual

Electroencefalograma

El electroencefalograma o EEG, es una prueba que se usa para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, concretamente de la actividad de la corteza del cerebro. Consiste esencialmente en registrar mediante electrodos especiales las corrientes eléctricas que se forman en las neuronas cerebrales y que son la base del funcionamiento del sistema nervioso (Sanei, 2013).

Ondas cerebrales

Todas las ondas cerebrales poseen amplitud y frecuencia, las cuales se miden en ciclos por segundo y en micro voltios, estos últimos representan el voltaje de dichas ondas.

Se ha comprobado que hay una relación existente entre la frecuencia, el voltaje y la amplitud de las ondas cerebrales con los distintos estados de conciencia.

Los tipos de onda según su voltaje y frecuencia se muestran en la Tabla 1.

Tipo de Onda	Voltaje	Frecuencia	Estado Mental
Delta	10-50 μ V	0.5 – 4 Hz	Hipnótico, meditación.
Theta	10-100 μ V	4 – 7.5 Hz	Vigilia, plenitud, armonía.
Alfa	100-150 μ V	8 – 13 Hz	Relajación, tranquilidad, relajación.
Beta	150-200 μ V	14 – 26 Hz	Alerta máxima, vigilante.
Gamma	+200 μ V	+ de 30 Hz	Estado de estrés y confusión.

Tabla 1 Tipos de onda (Sanei, 2013).

Emotiv EPOC+

El equipo Emotiv EPOC+ (Figura 1a), es un sistema de detección neuroeléctrica que capta y amplifica ondas cerebrales generadas por diferentes “acciones” mentales. Este dispositivo es capaz de obtener las señales de los 14 canales: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4, basándose en el sistema internacional 10-20, el cual es un método aprobado para describir la ubicación de electrodos en el cuero cabelludo, para el registro del EEG, tal como se muestra en la Figura 1b.

Este dispositivo también maneja un filtro para frecuencias de 0.2 a 45 Hz, el cual puede tomar hasta 128 muestras por segundo en cada canal (EMOTIV, 2016).

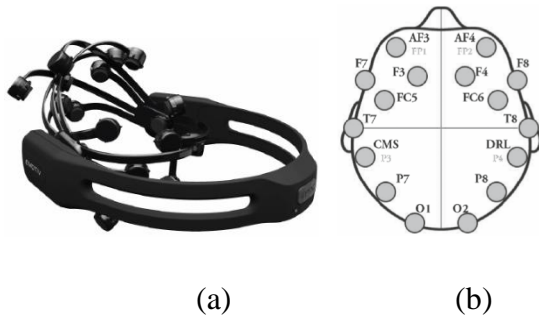


Figura 1 (a) Emotiv EPOC+ (EMOTIV, 2016), (b) Sistema de posicionamiento 10-20 (Monge & Aracena, 2015).

Este dispositivo incluye 16 sensores que están compuestos de una capa de fieltro, los cuales tienen como base un contacto chapado en oro como se muestra en la Figura 2a. Estos sensores están montados en plástico de manera que es posible realizar su ensamble de manera sencilla.

Para establecer una buena conducción entre el sensor y cuero cabelludo, es necesario realizar un proceso de hidratación, este consiste en saturar los sensores con solución salina de manera que el fieltro quede completamente empapado de la solución como se muestra en la Figura 2b. Para evitar derrames, la solución fue aplicada a los sensores por medio de una jeringa de uso común.

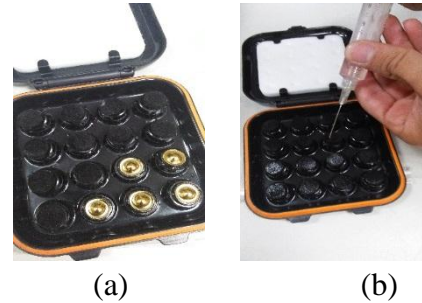


Figura 2 (a) Sensores Emotiv. (b) Proceso de hidratación.

Selección de una muestra de la población

En esta etapa de la investigación, se estableció contemplar una muestra de la población de 10 sujetos, obedeciendo un criterio de que el 50% sean género femenino y el 50% de género masculino. A su vez se seleccionaron personas de distintas edades en cada subgrupo, con el objetivo de analizar el comportamiento de las señales, en el rango más amplio posible de la población.

En la Tabla 2 se presentan los datos tomados en cuenta para la selección del grupo de sujetos de prueba de género femenino y en la Figura 3 se presentan los sujetos de prueba del 1 al 5, en orden de aparición según la Tabla 2.

Sujeto #	Edad (años)	Ocupación
1	12	Estudiante
2	19	Estudiante
3	21	Estudiante
4	30	Profesionista
5	48	Profesionista

Tabla 2 Datos de sujetos de prueba, género femenino.



Figura 3 Sujetos de prueba género femenino

En la Tabla 3 se presentan los datos de los sujetos de prueba género masculino y en la Figura 4 los sujetos de prueba en orden de aparición según la Tabla 3.



Figura 4 Sujetos de prueba género masculino.

Sujeto #	Edad (años)	Ocupación
6	9	Estudiante
7	17	Estudiante
8	23	Estudiante
9	35	Comerciante
10	61	Profesionista

Tabla 3 Datos de Sujetos de prueba género femenino.

De aquí en adelante se presentarán a los sujetos por el número asignado en las Tablas 2 y 3, resaltando que del #1 al 5 son de género femenino y del #5 al 10 de género masculino.

Software para adquisición y visualización de las señales

Dentro de las herramientas que Emotiv provee con la diadema EPOC+, se encuentra el kit de desarrollo de software (SDK) Emotiv Xavier. Para este proyecto se utilizaron las siguientes plataformas:

1. Emotiv Xavier *Control Panel*, versión 3.3.2
2. Emotiv Xavier *Test Bench*, versión 3.1.20

El *control panel* permite visualizar al usuario el estatus de comunicación entre la diadema y la computadora, así como el estatus de conexión de cada uno de los 14 canales de adquisición de señales.

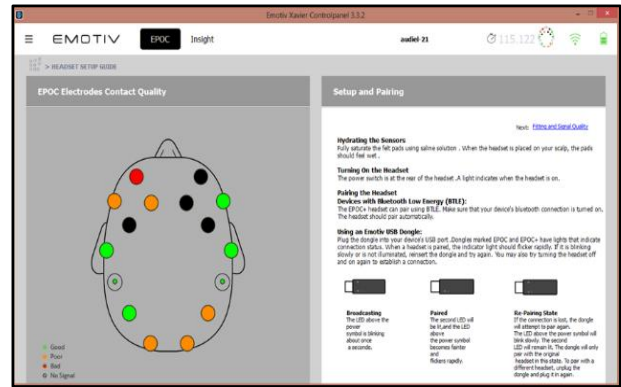


Figura 5 Emotiv Xavier Control Panel.

El *test bench* es la plataforma donde es posible visualizar en tiempo real las señales adquiridas y donde el encargado de adquirir las señales puede establecer los parámetros de adquisición.

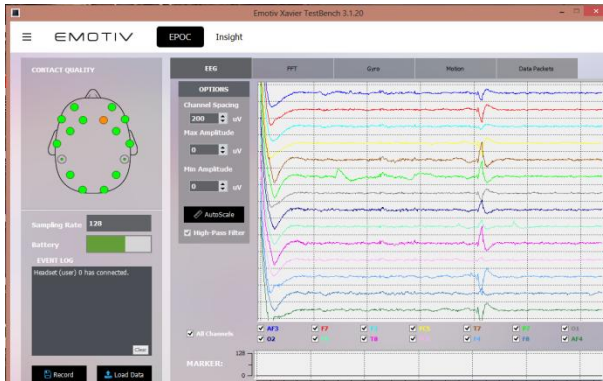


Figura 6 Emotiv Xavier Test Bench.

Conexión del dispositivo

La primera etapa para la adquisición de las señales consiste en la de colocación de la diadema en el sujeto de prueba para establecer conexión entre el dispositivo y la computadora, vía bluetooth. Para comenzar a visualizar las señales en los 14 canales, es necesario lograr que los sensores tengan un contacto directo con el cuero cabelludo hasta lograr una conexión exitosa. La calidad de conexión de cada uno de los canales puede visualizarse en el *Control Panel* del software tal como se mostró en la Figura 5. Este proceso varía en cada uno de los sujetos dependiendo distintas variables, por ejemplo cantidad de cabello que tiene la persona, hidratación en los sensores y colocación correcta del sensor. En la Tabla 4 se presentan los tiempos obtenidos de conexión con cada uno de los sujetos.

Sujeto #	Tiempo de conexión	Estado de conexión
1	5:22 Minutos	Exitosa
2	8:00 Minutos	Exitosa
3	2:26 Minutos	Exitosa
4	3:25 Minutos	Exitosa
5	6:00 Minutos	Exitosa
6	4:35 Minutos	Exitosa
7	0:42 Segundos	Exitosa
8	3:00 Minutos	Exitosa
9	4:29 Minutos	Exitosa
10	1:00 Minuto	Exitosa

Tabla 4 Tiempos y estado de conexión.

Como es posible ver en la Tabla 4, los tiempos de conexión disminuyen considerablemente a partir del sujeto #6. Esto se debe a que comúnmente las mujeres tienen más cabello que los hombres. Al realizar la conexión exitosamente, es posible comenzar con la adquisición de las señales por medio de las pruebas propuestas.

Pruebas de relajación

Una vez que se comenzó con la adquisición de las señales, se visualizó que al colocar inicialmente la diadema en los sujetos de prueba, las señales tenían una tendencia a ser inestables y por lo tanto eran difíciles de estudiar. Ante esta problemática, surge la necesidad de establecer una prueba de relajación.

Esta prueba consiste en lograr que el sujeto de prueba pueda llegar a un estado de relajación en el cual no exista ninguna distracción para así lograr que las señales se puedan estabilizar en la menor amplitud posible.

Las herramientas utilizadas para llegar a la relajación de los sujetos de prueba en este caso fueron:

1. Pantalla en blanco.
2. Video de relajación.

La pantalla en blanco fue aplicada al sujeto #8. Los resultados iniciales al colocar la diadema se muestran en Figura 7, donde es posible visualizar que las señales se adquieren con distintos comportamientos los cuales se consideran inestables. Una vez que se mostró una pantalla blanca por 5:00 minutos, las señales se estabilizaron completamente, tal y como se muestra en la Figura 8.

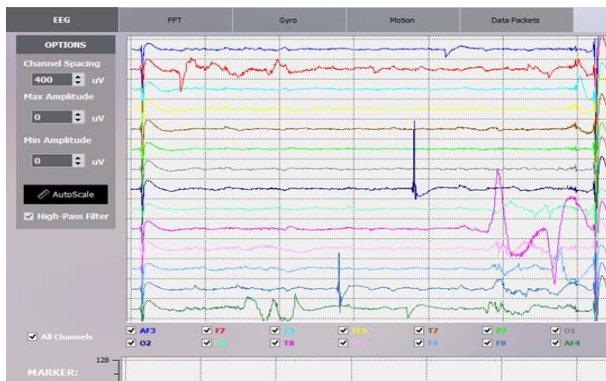


Figura 7 Señales inestables obtenidas del sujeto #8.

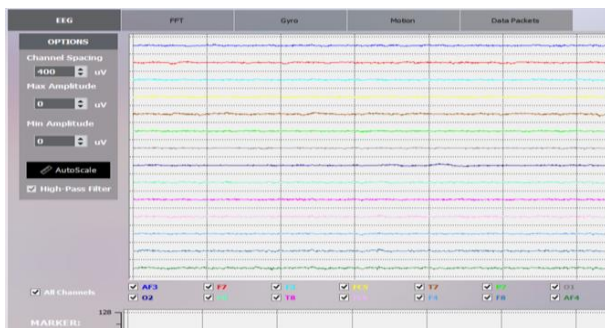


Figura 8 Señales obtenidas luego de aplicar prueba de relajación al sujeto #8.

El resto de los sujetos de prueba fueron sometidos a la prueba de relajación utilizando un video con duración de 3 minutos en el cual se visualizan peces nadando en un estanque como se muestra en la Figura 9 y se reproduce un sonido relajante.



Figura 9 Video presentado para la prueba de relajación (Milleaccendini, 2012).

Como muestra del resultado, se presenta la prueba aplicada al sujeto #5, donde al igual que en el caso pasado se obtuvieron los resultados esperados. En la Figura 10 es posible visualizar las señales inestables antes de aplicar la prueba y en la Figura 11 las señales con un comportamiento estable.

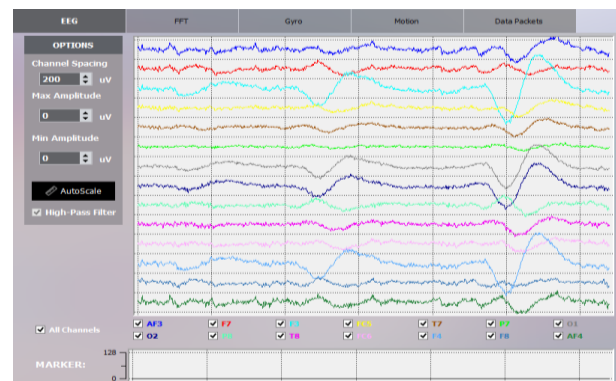


Figura 10 Señales inestables obtenidas del sujeto #5.

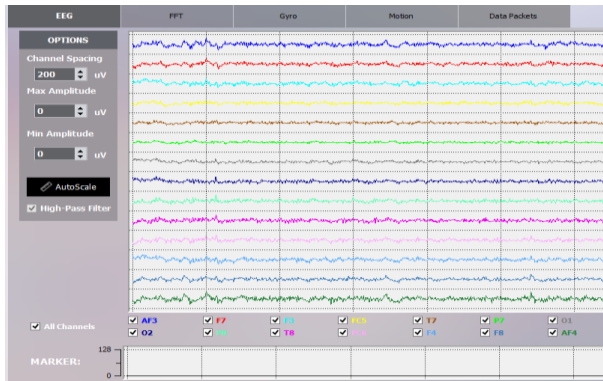


Figura 11 Señales obtenidas luego de aplicar prueba de relajación al sujeto #5.

Los resultados en el resto de los sujetos se consideraron exitosos debido a que después de los 3:00 minutos de duración del video, las señales lograron estabilizarse.

Pruebas con estímulos visuales

Esta prueba consiste en mostrarle al sujeto un estímulo visual (flechas: arriba, abajo, izquierda, derecha) cinco veces cada una, con el fin de analizar cada uno de los canales y su respectiva señal para observar si alguna de estas es excitada al momento en que se le presenta el estímulo al sujeto.

La metodología para realizar el análisis de las señales consistió en aplicar el estímulo visual a la persona para ver el comportamiento de todas las señales. Una vez que se aplicó cinco veces el estímulo, se analizó en cual o cuales de las señales hubo una mayor excitación. Al determinar cuál es el canal con mayor actividad, se sesga la señal y se determina gráficamente la amplitud del pico en μV , esto con el fin de cuantificar el comportamiento y de establecer diferencias entre los picos generados cada vez que la persona visualiza las flechas hacia distinta dirección.

Los resultados al aplicar esta prueba fueron muy variados. Sin embargo los más sobresalientes se presentaron al aplicar la prueba al sujeto #8, por lo tanto a continuación se presenta evidencia de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos con este sujeto.

En la Figura 12 se presenta una muestra de los cinco electroencefalogramas obtenidos con el sujeto #8 una vez que se aplicó el estímulo de flecha hacia arriba.

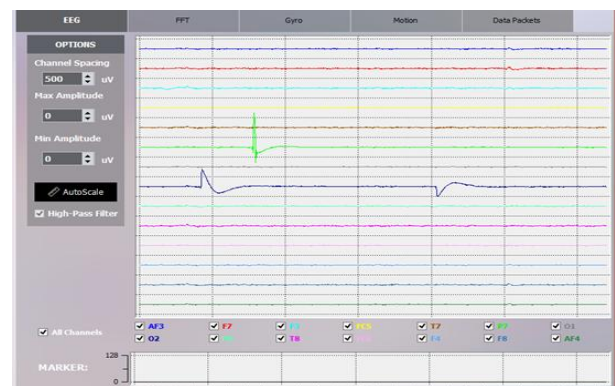


Figura 12 Electroencefalograma en el momento que se presentó la flecha hacia arriba al sujeto #8.

Al analizar el electroencefalograma completo, es posible observar que las señales que se excitaron al momento de ver la flecha hacia arriba fueron las de los canales **P7** y **O2**. Siendo estas las mismas señales que mostraron un comportamiento distinto en las 5 muestras, por lo tanto se prosiguió a sesgar las señales de estos dos canales para determinar su amplitud como se muestra en la Figura 13.

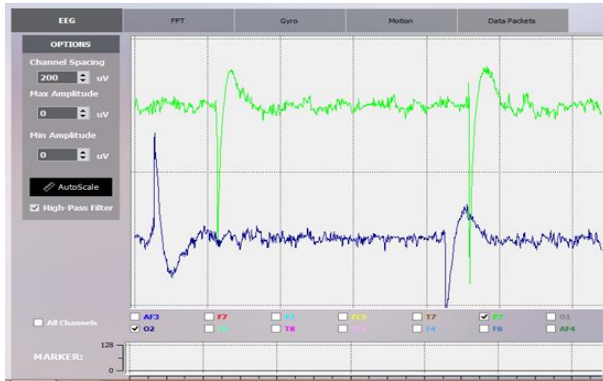


Figura 13 Señales sesgadas luego de presentar flecha hacia arriba.

Al analizar estas dos señales por separado es posible observar que la señal **P7** maneja una amplitud de (-60 a 20 μV). Cabe mencionar que la unidad de medida de manera vertical en la pantalla es de 40 μV .

El siguiente paso de la prueba es mostrar la flecha hacia abajo, en este caso igual se presenta una muestra de los 5 electroencefalogramas obtenidos luego de mostrar el estímulo visual al sujeto #8 (Figura 14).

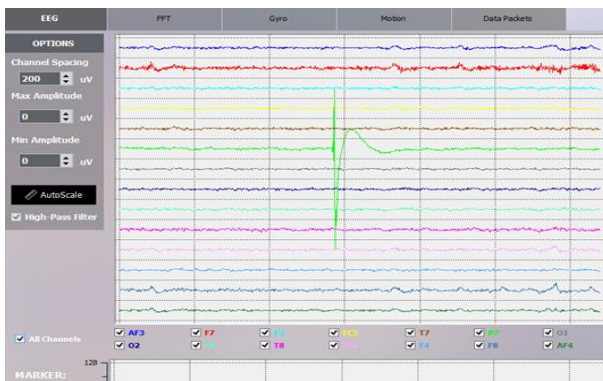


Figura 14 Electroencefalograma en el momento que se presentó la flecha hacia abajo al sujeto #8.

Al analizar los 5 electroencefalogramas, nuevamente se presentó una excitación en la señal del canal **P7** al momento de presentar el estímulo por lo que se estudió la señal por separado (Figura 15).

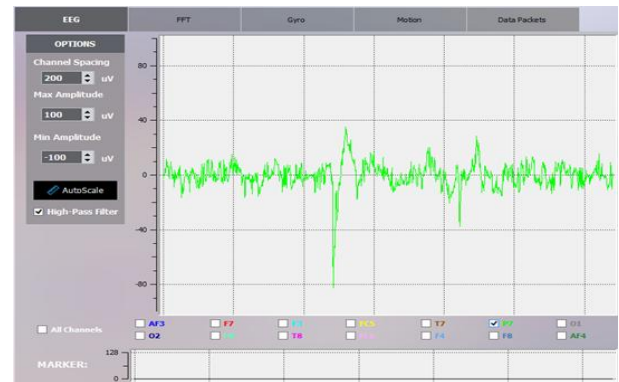


Figura 15 Señal sesgada luego de presentar flecha hacia abajo.

En este caso la onda generada va desde -80 a 40 μV . En las muestras obtenidas ante la flecha con dirección a la izquierda, la señal que manifestó cambios fue la **P7** (Figura 16), generando una onda con una amplitud que va desde -100 a 100 μV (Figura 17).

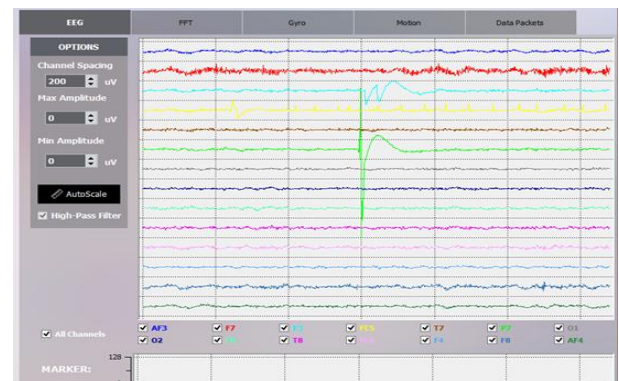


Figura 16 Electroencefalograma en el momento que se presentó la flecha hacia la izquierda al sujeto #8.

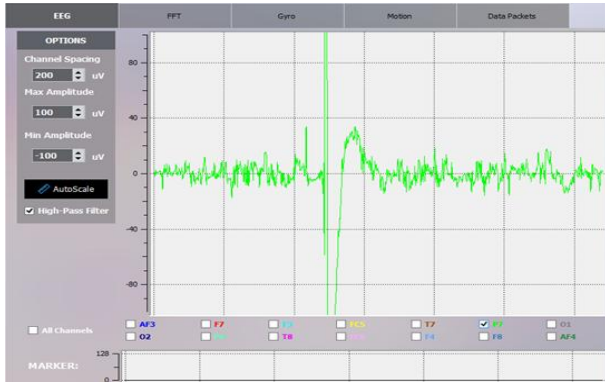


Figura 17 Señal sesgada luego de presentar flecha hacia la izquierda.

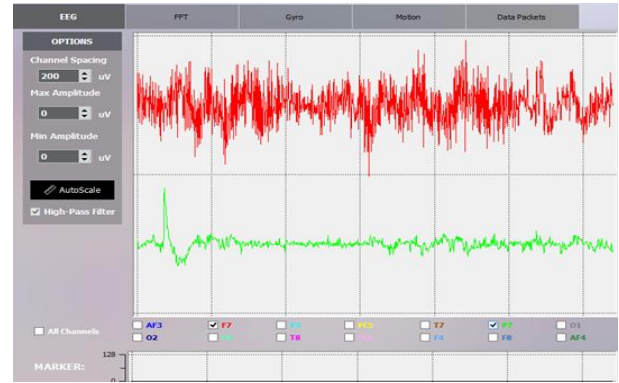


Figura 19 Señales sesgadas luego de presentar flecha hacia la derecha.

Los resultados obtenidos al momento de mostrar el estímulo visual con la flecha a la derecha se hicieron presentes en las señales obtenidas a través de dos canales, en el **P7** generando una onda con una amplitud que va desde -20 a 40 μV y en el **F7** (Figura 18), generando también una onda con una amplitud de -40 a 40 μV (Figura 19). Estas dos señales están ubicadas en el hemisferio izquierdo.

Los resultados de las pruebas aplicadas a todos los sujetos se presentan en la Tabla 5.

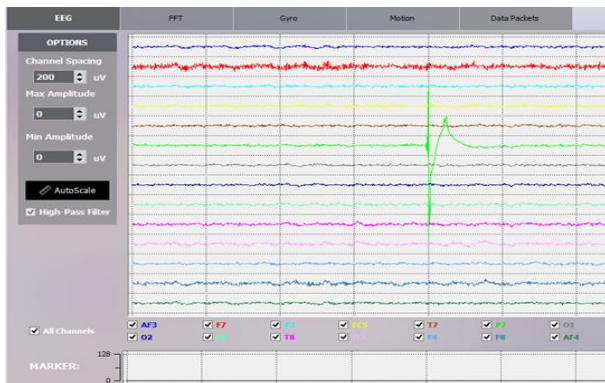


Figura 18 Electroencefalograma en el momento que se presentó la flecha hacia la derecha al sujeto #8.

Sujeto #	Señal	↑ (μV)	↓ (μV)	← (μV)	→ (μV)
1	F4	-290 a 60	-290 a 80	-70 a 110	-290 a 150
2	T7	-40 a 80	-70 a 120	-40 a 70	-40 a 60
3	O1	-60 a 160	-40 a 170	-50 a 190	-60 a 180
4	F8	-40 a 70	-50 a 60	-60 a 90	-80 a 50
5	P8	-300 a 300	-80 a 80	-40 a 40	-50 a 300
6	F8	-120 a 170	-200 a 300	-80 a 160	-240 a 170
7	F4	-60 a 80	-240 a 120	-160 a 120	-40 a 40
8	P7	-60 a 20	-80 a 40	-100 a 100	-20 a 40
9	O1	-40 a	-80 a	-40 a	-80 a

		40	80	40	90
10	F4	-200 a 120	-40 a 50	-160 a 220	-170 a 160

Tabla 5 Rango de valores obtenidos en μV .

Como es posible visualizar en la Tabla 5, los canales que se activan en cada uno de los sujetos de prueba varían, siendo los más constantes el **F4** y el **F8**. En la Tabla 5 se tomó en cuenta aquel canal en donde la señal presento mayor actividad (picos) en la mayoría de las 5 pruebas de cada sujeto, para así determinar el rango en μV que gráficamente fue posible observar.

Por otra parte y con un enfoque directamente en los estímulos, se presenta en la Tabla 6, donde se analizaron en términos generales todos los resultados y se obtuvo que los canales a través de los cuales se obtuvieron señales con mayor actividad fueron los **F4**, **F8** y **T7**. Como es posible observar, a pesar de que el canal **F4** está presente dos veces, el rango en μV es distinto, por lo que sería posible utilizar estos parámetros para un condicionamiento distinto en el caso de una aplicación práctica.





Estímulo visual	Señal	Promedio (μV)	Tipo de onda
	F4	-40 a 80	Theta
	F8	-40 a 80	Theta
	F4	-100 a 120	Alfa
	T7	-80 a 50	Delta

Tabla 6 Resultados en promedio.

Agradecimientos

Se agradece a las personas que formaron parte de la muestra de población para llevar a cabo las pruebas así como a las personas que formaron parte del equipo trabajo para llevar a cabo esta investigación. Un agradecimiento especial a Edgar Fernando Mendez Martínez y Christian Pérez Klapez. De igual forma se agradece al PRODEP por financiar este proyecto con número de oficio NÚM/SA-013/2016.

Conclusiones

Se ha presentado una propuesta para realizar la adquisición y análisis de señales electroencefalográficas, basándose en una propuesta de aplicación de pruebas de relajación para la preparación de las señales y así posteriormente presentar estímulos visuales (flechas).

La hipótesis planteada al inicio del proyecto fue comprobada debido a que sí se presenta actividad una vez que un sujeto visualiza el estímulo visual propuesto, sin embargo los resultados obtenidos varían en cuanto al canal de las señales que se excitan. Fue posible observar que el sujeto de prueba #8, fue quien presentó resultados más constantes respecto a la actividad de las señales sobre un mismo canal, esto se puede asociar a que esta persona realizó las pruebas en más de 5 ocasiones, por lo tanto puede considerarse había sido parte de un previo entrenamiento.

Como trabajo futuro de este proyecto, se propone realizar la conexión del dispositivo con el *software* Labview, para así adquirir directamente la señal y poder manipularla para comenzar a utilizar intervalos que puedan condicionar el accionamiento de algún dispositivo externo, por ejemplo los motores de una silla de ruedas automática o cualquier otro dispositivo que pueda brindar autonomía a las personas que padecen alguna discapacidad motriz.

Referencias

Chávez, V., Ramos, E., & Domínguez, A. (2014). Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas. *Congreso Universitario 2014*, 320-325.

EMOTIV. (2016, Julio 16). *Emotiv EPOC Specifications 2014*. Retrieved from EMOTIV: <https://www.emotiv.com/files/Emotiv-EPOC-Product-Sheet-2014.pdf>

Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Ippeita, D. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems. *NeuroImage*, 1600-1611.

Milleaccendini. (2012, Abril 12). *YouTube*. Retrieved from <https://youtu.be/VIrBecB746c>

Monge, S., & Aracena, D. (2015). Control de movimiento robótico con detección cognitiva y facial mediante Emotiv EEG. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 23 (4), 496-504.

Sanei, S. (2013). *Adaptive processing of brain signals*. Surrey: Wiley.

Instrucciones para Autores

[Titulo en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envio:Mes,Dia, Año); Aceptado(Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.11

Keyword

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Titulo del Paper. Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para Autores

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]

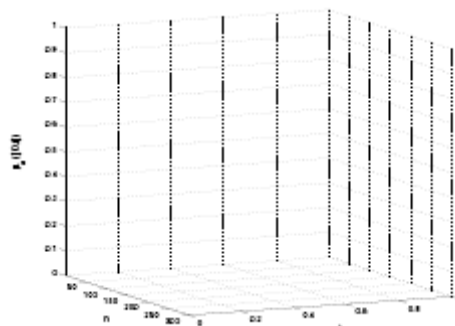


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

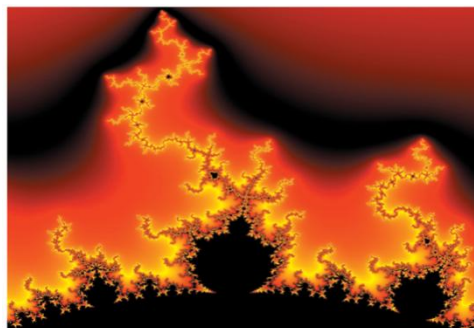


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

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 Titulo secuencial.

Instrucciones para Autores

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.

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

Referencia

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Tecnología e Innovación

