



Ingeniantes

Año 4, No. 2, Vol. 1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

latindex

ISSN 2395-9452

Temáticas

Tierra, Energía, Biológicos, Bioquímica
Medio Ambiente, Gestión Educativa
Mecánica de Materiales,
Ciencias de la Computación
Calidad y Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Año 4 / No. 2 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, año 4, No. 2, Vol 1. noviembre 2017 - mayo 2018, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: M.I.I Erika Adrienne Bandala Martínez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 07 de diciembre de 2017.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 25671.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a stylized, lowercase serif font. The letters are primarily red, with the letter 'i' being orange and having a small orange circle above it. The letters are slightly shadowed, giving them a three-dimensional appearance as if they are floating above a white surface.

Noviembre 2017

Directorio

Dr. José Alberto Gaytán García
Director General, ITSM, Veracruz, México

M.S.I. Ana Lilia Sosa y Durán
Subdirectora Académica, ITSM, Veracruz, México

M.A. José Edgar Soto Meneses
Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

M.C. Reyes Pérez y Cano
Director de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

Lic. Lidia Herrera Domínguez
Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Ing. Carlos Yossio Nakase Rodríguez
Subdirector del Sistema Abierto, ITSM, Veracruz, México

Cuerpo Editorial

Editor General
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Editor
M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US
Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN
Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT
Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT
Dra. Susana López Cuenca, ITSZ
Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSZ
Dr. Abel García Barrientos, UASLP
Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET
Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET
Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET
Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET
Dr. José Luis Marín Muñiz, Colegio de Veracruz
Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro, UV
Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON
Dr. Marco Tulio Gallo Estrada, UACH
Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM
Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM
Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM
Dr. Luis Mejía Macario, ITSM
Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM
Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM
M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI
M.I.A. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM
M.I.A. Luis Enrique García Santamaria, ITSM
M.I. Daniel Aguayo Siqueiros, ITSM
M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González, ITSM, México
Ing. Sindy Stephany Mota Aguirre

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología
Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, ITSM, México

Distribución

Publicación electrónica disponible en
citt.itsm.edu.mx/ingeniantes
Correo electrónico: revista.ingeniantes@itsm.edu.mx
<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=25671>

Ingeniantes



03



09



16



22



31



40

Contenido

Estudio comparativo de cuestionarios para la evaluación de la usabilidad en software __ 03

Manuel A. Barajas Bustillos; Rosa María Reyes M; Jorge de la Riva R., Instituto Tecnológico de Cd. Juárez; Aidé Maldonado Macías, Universidad Autónoma de Cd. Juárez

Poka-Yoke en línea de producción de cubiertas para porta equipaje automotriz _____ 09

Luis Armando Torres Pérez; María Guadalupe de Lourdes Acosta Castillo; Yasser Rafael García Rodríguez; Hugo Morales Acevedo; Andrea Abigail Hernández Torres, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato.

Contribución al conocimiento de la langosta de profundidad (*Panulirus interruptus*) de la costa noroccidental de Baja California _____ 16

Jorge Flores Olivares; Emmanuel Vázquez Olivares; Antonio Murillo Olmeda, Instituto Tecnológico de Mazatlán

Medición de la alteración del peso en el mármol tipo Café Tabaco mediante una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio _____ 22

Adolfo Manuel Morales Tassinari; Javier Guevara Rivera; Pedro Cruz Ortega, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez; Jorge Arturo Hernández Zárate, Instituto Tecnológico de Veracruz

Simulación computacional para la identificación de los factores que ocasionan fractura del resorte helicoidal de cerraduras automotrices sometido a torques a alta velocidad ___ 31

Martin Gustavo Reyes Chávez; Ana Isela García Acosta, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Implementación de un backend orientado a objetos para clusters de BD heterogéneas y clientes web adaptativos asíncronos en un ERP para la gestión integral de los Institutos Tecnológicos del TecNM _____ 40

Antonio Aquino Ramos Salvador; Francisco Adolfo Aguilar Gómez; Carmen Juliana Aguilar Fernández; José Aurelio Carrera Melchor; Jorge Mario Figueroa García, Instituto Tecnológico Superior de Misantla



47



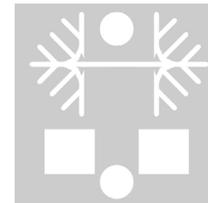
53



60



67



76

Desarrollo de software lúdico utilizando Metodología de Desarrollo Ágil _____ 47

Lilia Margarita Mena Castillo; Isaac Neftali Molina Cepeda; Saúl García Andazola; Rolando Ruíz Murillo, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes

Red Bayesiana para detectar patrones de distribución espacial de la conectividad funcional cerebral con electroencefalografía _____ 53

María Luisa Córdoba Tlaxcalteco; Alejandro del Rey Torres Rodríguez; Yoselyn Nohemi Ortega Gijón; Carlos Arturo Hernández Gracidas, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Aplicación interactiva de astronomía con robot NAO, de apoyo a educación preescolar _ 60

Miguel Flores Zárate; Víctor César Olguín Zárate; Lorena Santos Espinosa; Axel Munguía Zaragoza, Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan

Diseño y análisis de armadura para máquina pulidora de placas de mármol mediante la herramienta Simulation de Solidworks _____ 67

Pedro Cruz Ortega; Adolfo Manuel Morales Tassinari; Javier Guevara Rivera, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

Análisis e implementación de un Convertidor Boost Multientrada para aplicaciones en fuentes de energías renovables _____ 76

Freddy Chan Puc; Jesús Álvarez Ruiz; Víctor Sánchez, Universidad de Quintana Roo; Daniella Pacheco Catalán, Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY; Diego Espinoza Trejo, Universidad Autónoma de San Luis Potosí



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Estudio comparativo de cuestionarios para la evaluación de la usabilidad en software



Colaboración

Manuel A. Barajas Bustillos; Rosa María Reyes M; Jorge de la Riva R., Instituto Tecnológico de Cd. Juárez; Aidé Maldonado Macías, Universidad Autónoma de Cd. Juárez

RESUMEN: La usabilidad es un atributo de calidad que cada vez es más importante en el desarrollo de software y que es importante que sea evaluada. La usabilidad puede ser evaluada de diversas maneras, los cuestionarios son una de las formas más populares de evaluar la usabilidad, por lo que se eligieron 4 de los cuestionarios de evaluación de la usabilidad para el software, disponibles en español: QUIS, SUMI, CSUQ y SUS. Se aplicaron en dos grupos diferentes en donde se evaluaron dos programas diferentes. En base a los datos recolectados, se comprobó por medio del alfa de Cronbach que los cuatro presentan un nivel de confiabilidad mayor de 0.7 sin importar el número de preguntas.

PALABRAS CLAVE: Ingeniería de software, Calidad de los programas, Usabilidad, Alfa de Cronbach, Cuestionario, Comparación.

ABSTRACT: Usability is a quality attribute that is important in software development and that it is important that it be evaluated. Usability can be evaluated in several ways, questionnaires are the most popular way to evaluate usability, so we chose four of the usability evaluation questionnaires for the software, available in Spanish: QUIS, SUMI, CSUQ and SUS. They were applied in two different groups in which two different programs were evaluated. Based on the collected data, it was verified by Cronbach's alpha that the four present a level of reliability greater than 0.7 regardless of the number of questions.

KEYWORDS: Software engineering, Program quality, Usability, Cronbach's alpha, Questionnaire, Comparison.

INTRODUCCIÓN

Aunque la definición de usabilidad varía dependiendo del autor, esta es una característica que es cada vez más importante en la Ingeniería de Software, de acuerdo con Pressman [1], la usabilidad es un atributo de calidad y es "el esfuerzo que se requiere para aprender, operar, preparar las entradas e interpretar las salidas de un programa", mientras que Nielsen [2] menciona que la usabilidad es una serie de atributos que tienen los programas que proporcionan facilidad de aprendizaje, eficiencia, recuerdo en el tiempo, bajo nivel de errores y satisfacción, por otra parte, en la definición proporcionada por el ISO/IEC [3] se menciona que la usabilidad es una característica que permite a un producto ser usado con efectividad, eficiencia y satisfacción.

Independientemente de la definición de usabilidad, esta es un atributo intangible del software que puede ser evaluada principalmente por dos métodos diferentes: métodos heurísticos y métodos empíricos [4]. En el caso de los métodos heurísticos es necesaria la participación de expertos en usabilidad que participan desde el principio del diseño del software [2] mientras que en los empíricos (entrevistas, cuestionarios, grupos focales, entre otros) se tiene que tomar en cuenta la participación del usuario final para poder tener resultados aceptables [5]. Dentro de los métodos empíricos, los cuestionarios son una de las formas de evaluación de la usabilidad más comunes [6], esto debido a la rapidez con la que se obtienen los resultados y su facilidad de implementación.

Si bien organizaciones como la International Standard Organization [7] y la European Telecommunications Standards Institute [8] reconocen la importancia de la usabilidad en el desarrollo del software no proporcionan un cuestionario de evaluación, por lo que el desarrollador debe de elegir entre diversos cuestionarios realizados.

Algunos de los principales cuestionarios utilizados en la evaluación de la usabilidad son: QUIS (Questionnaire for User Interface Satisfaction), desarrollado por Ben Schneiderman en 1987 [9]; el SUMI (Software Usability Measurement Inventory), desarrollado por Jurek Kirakowski en 1993 [10]; el CSUQ (Computer System Usability Questionnaire) el cual era utilizado en IBM y que fue evaluado por James R Lewis en 1995 [11], traducido al español en 2015 [12]; el SUS (System Usability Scales) utilizado por DEC evaluado en 1991 por N.M Lucey en 1991 [10] traducido al español en 2016 [13]. Lo anterior en parte es mostrado en la Tabla 1. En el caso de QUIS y SUMI son cuestionarios de uso comercial, si bien su uso para fines académicos es posible, en caso de que se desee aplicarlos en un entorno comercial es necesario el realizar un pago para tener el derecho de uso, por ejemplo: para el caso de QUIS en una aplicación comercial el pago es de US\$750 [14], mientras que en el caso de SUMI este es a partir de €650 [15]. Mientras que en el caso de los cuestionarios CSUQ y SUS, estos cuentan con una traducción al español que fue validada principalmente en páginas web, aunque es muy común el hacer uso de los cuestionarios para la evaluación de la usabilidad en ambos ambientes, solo se cambia las partes donde se habla del software por web [16]. Los cuestionarios presentados en la Tabla 1 presentan un número de preguntas diferentes, por ejemplo: QUIS presenta 27, SUMI tiene 50, CSUQ con 16 y SUS que solo presenta 10. Si bien cada cuestionario presenta diferentes secciones que nos pueden servir para mejorar el nivel de usabilidad del software, su calificación final nos indicará el nivel de usabilidad global del software evaluado.

Tabla 1. Algunos de los cuestionarios con versión en español.

Cuestionario	Año de desarrollo	Última versión	Referencias
QUIS	1988	2016	[9, 17]
SUMI	1993	N/D	[10]
CSUQ	1995	2012	[11, 12, 18]
SUS	1991	2011	[10, 13, 19]

N/D: No disponible

Un cuestionario, de cualquier tipo, antes de su aplicación tuvo que haber sido validado, esto con el fin de saber si este es confiable. La confiabilidad de un cuestionario es la precisión con que este mide lo que en realidad se evalúa, en condiciones normales de aplicación en una población determinada [19]. Esta confiabilidad se valida

principalmente por medio del coeficiente alfa de Cronbach [20]. Si se tiene un cuestionario de menos de 20 preguntas una confiabilidad mayor o igual de 0.70 en el coeficiente alfa de Cronbach, se considera que es un valor aceptable, mientras que un valor cercano a 1 es mejor, esto es siguiendo el criterio que se muestra en la Tabla 2 [21]. Si se tiene un cuestionario de más de 20 preguntas, en caso de que se presente un valor mayor de 0.90 en el alfa de Cronbach, se considera que las preguntas presentan cierta redundancia o duplicidad, por lo que es recomendable el eliminar una de ellas [20].

Tabla 2. Confiabilidad de acuerdo al alfa de Cronbach para cuestionarios de menos de 20 preguntas

Nivel de Confiabilidad	Alfa de Cronbach
Excelente	0.9 - 1
Bueno	0.8 - 0.9
Aceptable	0.7 - 0.8
Cuestionable	0.6 - 0.7
Pobre	0.5 - 0.6
Inaceptable	< 0.5

En la Tabla 3 se muestra el valor del alfa de Cronbach en los 4 cuestionarios analizados que se obtuvieron en su diseño y validación.

Tabla 3. Valores del alfa de Cronbach en los cuestionarios elegidos

Cuestionario	Alfa de Cronbach	Ref.
QUIS	0.94	[17]
SUMI	0.92	[10]
CSUQ	0.97	[12]
SUS	0.92	[13]

Los 4 cuestionarios fueron seleccionados por que tienen en común que evalúan los siguientes atributos de la usabilidad [12,13, 15, 22]:

- Eficiencia.
- Efectividad.
- Facilidad de aprendizaje.
- Satisfacción.

Objetivo de este trabajo.

Por medio de este trabajo se estudian 4 cuestionarios para evaluar la usabilidad del software y que están disponibles en español para así poder obtener información que permitirá a los desarrolladores de software el determinar cuál cuestionario utilizar en su trabajo en base al tiempo de aplicación y la confiabilidad. Se evaluaron las

versiones en español de los cuestionarios QUIS, SUMI, CSUQ (versión original) y SUS (en su versión positiva).

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

En la Figura 1 se muestra una representación de la metodología seguida en este trabajo.

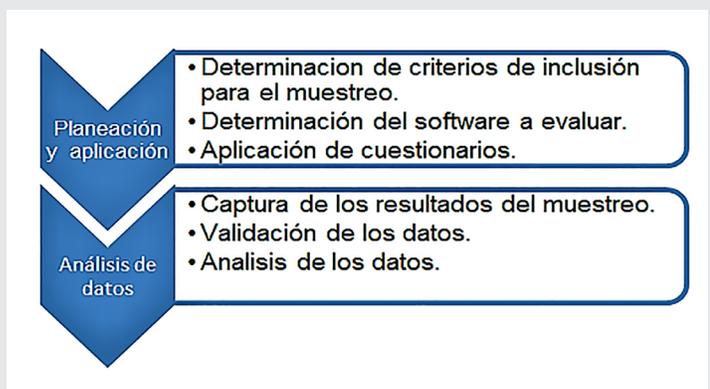


Figura 1. Metodología utilizada para realizar la comparación de cuestionarios.

La metodología fue dividida en dos etapas:

1. Planeación y aplicación.
2. Análisis de datos.

Planeación y aplicación.

En esta primera etapa se decidió que el criterio de inclusión de los participantes fuera el incluir en el muestreo a cualquier persona que manifestara el haber hecho uso, al menos una vez, del software a evaluar. Para el tipo de muestreo se decidió que, al no ser práctico realizar un muestreo probabilístico, se realizaría un muestreo por conveniencia [23] con un mínimo de 20 participantes, esto en base a que esta es la cantidad mínima que sugieren varios autores que se requiere en un estudio de usabilidad [2, 24]. Fueron aplicados 4 cuestionarios a la vez por cada participante, su orden de aplicación fue modificado en cada uno de ellos. Por último, se determinó que el software a evaluar fueran dos: Microsoft Excel 2010© y AutoCAD 2012©, esto debido a que son dos de los más populares y están disponibles en los centros de cómputo de dos instituciones de nivel superior en la localidad de Cd. Juárez, Chihuahua en donde se realizó el muestreo.

Análisis de datos

En esta etapa, la captura y validación de los resultados de los cuestionarios aplicados incluye la captura, depuración y validación de la base de datos. Los datos obtenidos de los cuestionarios se capturaron en el programa SPSS© v.24 para su análisis, en el caso de datos perdidos estos se sustituyeron por la mediana [25], gracias a que los datos en los cuatro cuestionarios se encuentran en una escala tipo Likert [26]. En el análisis de los datos se obtuvo la confiabilidad de los diferentes cuestionarios por medio del alfa de Cronbach. Los

resultados de los cuestionarios se convirtieron a una escala porcentual con fin de realizar una comparación de la calificación obtenida por cada uno de los cuestionarios los cuales presentan un número de escala en la respuesta diferente, QUIS presenta una escala de 10, SUMI de 3, CSUQ de 7 y SUS de 5. Normalmente se considera que a una mejor calificación global, será mayor el nivel de usabilidad.

Materiales

Los materiales utilizados para este trabajo son:

- Computadora con SPSS© v.24 y office© 2010 instalados.
- Impresora.
- Plumas.
- Copiadora.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La descripción de la muestra recopilada es la siguiente: los cuestionarios se aplicaron en dos instituciones de nivel superior en la localidad de Cd. Juárez, Chihuahua, en su aplicación participaron 73 individuos divididos en dos grupos, 35 para la evaluación de AutoCAD y 38 en la evaluación de Excel; de los 78 participantes, 67.1% fueron hombres y 32.9% mujeres; el 11% de los entrevistados consideraban tener un nivel avanzado en su dominio del programa evaluado, 72.6% consideraban tener un nivel medio y 16.4% consideraban tener un nivel básico; el 20.5% de los usuarios expresó tener alguna experiencia con el uso de programas de similares características, mientras que 79.5% expresaron desconocerlos; el 95.9% de los entrevistados son estudiantes de nivel superior, mientras que el resto se clasificó en la categoría de otros; el 93,2% está en el rango de edad de 19-25 años, 2.8% está en el rango de 25-35 años y 1.4% está en el rango de más de 36 años.

La distribución de los datos son mostrados en la Figura 2, en donde por medio de los gráficos de caja se puede observar que los datos presentan una mayor agrupación en torno a la media para el caso de QUIS y CSUQ, mientras que en el caso de SUS y SUMI estos presentan una mayor dispersión.

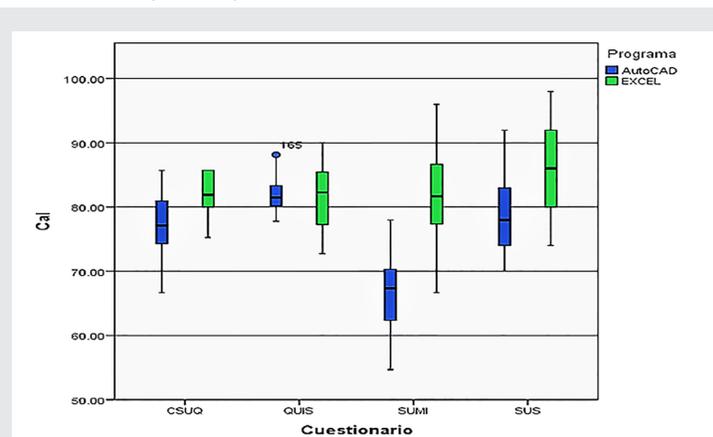


Figura 2. Gráficos de caja mostrando la dispersión de las medias de los resultados.

Como se puede observar en la Figura 3, en el caso de Excel, la calificación media en los 4 cuestionarios es muy parecida, en el caso de SUMI se presenta una mayor variación, mientras la calificación media obtenida para Excel es de 80.75 la media obtenida para AutoCAD es de 67.01, la más baja de los 4 cuestionarios, mientras SUS, SUS y CSUQ muestran una menor diferencia en la calificaciones obtenidas entre Excel y AutoCAD.

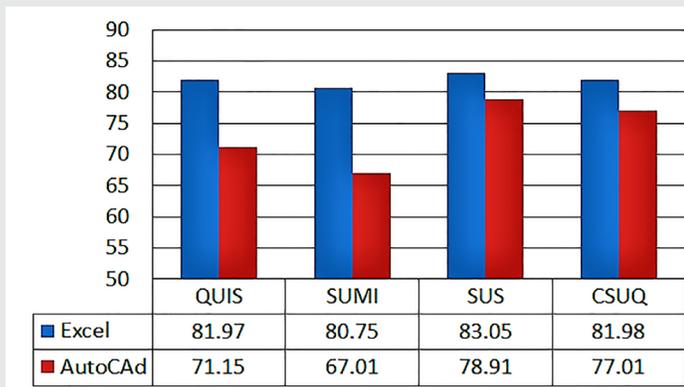


Figura 3. Calificación media para cada cuestionario.

En lo que respecta a la confiabilidad, esta se obtuvo por medio del alfa de Cronbach en cada cuestionario, en todos los casos se encontró que estos estaban en los niveles de aceptación (alfa de Cronbach mayor de 0.70), estos son mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Confiabilidad de los cuestionarios evaluados

Cuestionario	Año de desarrollo	Última versión	Referencias
QUIS	1988	2016	[9, 17]
SUMI	1993	N/D	[10]
CSUQ	1995	2012	[11, 12, 18]
SUS	1991	2011	[10, 13, 19]

Podemos observar que en el caso de los 4 cuestionarios el alfa de Cronbach obtenido es menor al reportado por sus autores, excepto el valor del SUMI al evaluar Excel. Si bien SUMI presenta un valor de alfa de Cronbach de 0.924 se recomienda, en caso de que se desee aplicarlo, el tener en cuenta que muy posiblemente su diseño presente cierta redundancia.

Es interesante notar que uno de los cuestionarios más simples estudiados, el SUS (con sólo 10 preguntas), presenta un nivel de confiabilidad bueno, el cual está en el rango de cuestionarios de más preguntas.

Como recomendaciones de futuro, los autores de este artículo consideran que es importante realizar estudios tomando en cuenta otras muestras y evaluar programas diferentes a los aquí evaluados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pressman, R.S. (2010). *Ingeniería del software, Un enfoque práctico*, 7a ed., McGraw-Hill Interamericana, México D. F.
- [2] Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*, 1a ed., Morgan Kaufmann, San Diego.
- [3] ISO/IEC (2011). *Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models*. Int. Organ. Stand. Consultado el 12 de mayo de 2017, de la página electrónica: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=35733.
- [4] Mascheroni, M. & Greiner, C. (2012) *Calidad de software e ingeniería de usabilidad*. XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 656-659.
- [5] Ferré, X., Juristo, N., Windl, H. & Constantine, L. (2001) *Usability basics for software developers* [versión electrónica]. *IEEE Software*, 18, 22-29.
- [6] Holzinger, A. (2005) *Usability engineering methods for software developers* [versión electrónica]. *Communications of the ACM*, 48, 71-74.
- [7] International Organization for Standardization (1998). *ISO 9241-11: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - part 11: guidance on usability*. 1998, 28. Consultado el 20 de abril de 2017, de la página electrónica: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=16883.
- [8] European Telecommunications Standards Institute (2000). *Human Factors (HF); Usability evaluation for the design of telecommunication systems, services and terminals*. Consultado el 26 de mayo de 2017, de la página electrónica: http://www.etsi.org/deliver/etsi_eg/201400_201499/201472/01.01.01_60/eg_201472v010101p.pdf.
- [9] Shneiderman, B. (1987). *Designing the user interface: strategies for effective human-computer-interaction*, 1a ed., Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA.
- [10] Kirakowski, J. (1999). *SUMI Background Reading. What is sumi?* Consultado el 31 de mayo de 2017, de la página electrónica: <http://sumi.uxp.ie/about/sumipapp.html>.
- [11] Lewis, J. (1995). *IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Eva-*

- luation and Instructions for Use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7, 57-78.
- [12] Hedlefs Aguilar, M.I., la Garza González, A. de, Sánchez Miranda, M.P. & Garza Villegas, A.A. (2015) Adaptación al español del Cuestionario de Usabilidad de Sistemas Informáticos CSUQ. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática* 4. Consultada el 26 de mayo de 2017, <http://www.reci.org.mx/index.php/reci/article/view/35>.
- [13] Hedlefs Aguilar, M.I. & Garza Villegas, A.A. (2016) Análisis comparativo de la Escala de Usabilidad del Sistema (EUS) en dos versiones. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, 5. Consultada el 26 de mayo de 2017, <http://reci.org.mx/index.php/reci/article/view/48>.
- [14] QUIS Licensing. (N/d). Consultado el 1 de junio de 2017, de la página electrónica: <http://www.lap.umd.edu/QUIS/licensing.html>.
- [15] What is SUMI? (N/d). Consultado el 26 de mayo de 2017, de la página electrónica: <http://sumi.uxp.ie/about/whatis.html>.
- [16] Tullis, T.S. & Stetson, J.N. (2004). A Comparison of Questionnaires for Assessing Website Usability. *Usability Professional Association Conference*, 1-12.
- [17] Shneiderman, B., Jacobs, S., Cohen, M., Diakopoulos, N., Elmqvist, N. & Plaisant, C. (2016). *Designing the user interface : strategies for effective human-computer interaction*, 6a ed., Addison-Wesley, Reading, MA.
- [18] Sauro, J. & Lewis, J.R. (2012). *Quantifying the user experience : practical statistics for user research*, 1st ed., Morgan Kaufmann, Waltham.
- [19] Sauro, J. & Lewis, J.R. (2011). When designing usability questionnaires, does it hurt to be positive? *29th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing System*, 2215-2223.
- [20] Celina, H. & Campo Arias, A (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*. 34(4), 572-580.
- [21] George, D. & Mallery, P. (2016). *IBM SPSS Statistics 23 Step by Step: A Simple Guide and Reference*, 14th ed., Routledge, New York.
- [22] Chin, J.P., Diehl, V.A. & Norman, K.L. (1988). *Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface*. *ACM CHI'88 Proc.* 218, 213-218.
- [23] Polit, D.F. & Hungler, B.P. (2000). *Investigación Científica en Ciencias de la Salud*, 6a ed., McGraw-Hill Interamericana, México D. F.
- [24] Alroobaea, R. & Mayhew, P.J. (2014) How many participants are really enough for usability studies? *Proc. 2014 Sci. Inf. Conf. SAI 2014* 48-56.
- [25] Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. & Anderson, R.E. (2010) *Multivariate Data Analysis*, 7a ed., Prentice Hall.
- [26] Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. del P. (2010) *Metodología de la Investigación*, 5a ed., McGraw-Hill Interamericana, México D. F.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Poka-Yoke en línea de producción de cubiertas para porta equipaje automotriz



Colaboración

Luis Armando Torres Pérez; María Guadalupe de Lourdes Acosta Castillo; Yasser Rafael García Rodríguez; Hugo Morales Acevedo; Andrea Abigail Hernández Torres, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato

RESUMEN: En el presente se propone el diseño e implementación de un Poka - Yoke con el fin de reducir los defectos por variación, generación de desperdicios (scrap) y pérdidas económicas en la línea de producción de cubiertas de lona retráctiles para porta equipaje (cubre cajuelas) en una empresa del sector automotriz. Como primera etapa, se describe el método y el principal factor de variación en el proceso de costura de las cubiertas, así como su impacto en el desempeño de la línea de producción.

En la segunda etapa se presenta el análisis que llevó al diseño del Poka - Yoke y finalmente, se muestran los beneficios obtenidos, comparando la cantidad de defectos antes y después de su implementación, reduciendo el desperdicio al 100% en la operación de costura e incluyendo a su vez, el impacto económico.

PALABRAS CLAVE: Diseño, Poka - Yoke, Producción, Scrap, Variación.

ABSTRACT: This paper presents the design and implementation of a Poka - Yoke to reduce the defects due to variation, scrap and economic losses in the retractable luggage space covers production line of an automotive company. At a first stage, the production method and the main factor of variation in the sewing process are described. The second stage presents the analysis for the design and application of the Poka - Yoke and finally, the benefits in the 100% reduction of defects, and the economic impact.

KEYWORDS: Design, Poka - Yoke, Production, Scrap, Variation.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria automotriz y de autopartes para vehículos en México ha sido abordado por diversas investigaciones, generalmente en relación con la evolución de la industria en el centro del país. Actualmente, la industria automotriz se encuentra en varios estados mexicanos, con grandes plantas de producción, como es el caso principalmente de Guanajuato, Puebla, Aguascalientes, Sonora y Chihuahua. El objetivo de estas plantas es abastecer principalmente el mercado de América del Norte [1].

De acuerdo a la Organización Internacional del Trabajo (OIT), los proveedores de componentes automotrices, representan dos tercios del valor añadido de cada automóvil, aumentando su participación en la industria, de tal forma que se espera lleguen a cubrir hasta tres cuartas partes en el futuro. A nivel mundial, la industria de componentes automotrices emplea alrededor del 46% de los trabajadores. De forma complementaria, las exportaciones de mercancías en la industria automotriz representan el 20% en países como Eslovaquia, Canadá, Chipre, Japón y México. Reflejando la forma en que las empresas buscan disminuir sus costos de trabajo por medio de externalizar sus actividades en otros países [2].

En décadas recientes, la industria automotriz ha sufrido grandes cambios en la forma de trabajar, incluyendo el incremento en la concentración industrial. Sin embargo, puede observarse que las ventas anuales de los mayores productores automotrices cayó de 54% a 46% en el periodo de 1998 – 2011, demostrando que la demanda en la diferenciación de productos y las diferencias entre las demandas nacionales de vehículos, presentan el reto de producir un vehículo que sea aceptado por el mercado a nivel internacional para cualquier industria automotriz [3].

Una de las respuestas a este reto (por parte de la industria automotriz a nivel mundial), consiste en la aplicación de los elementos de manufactura esbelta o de producción esbelta, cuyos principios se basan en la eliminación de desperdicios. La presente investigación se enfoca en el diseño e implementación de un Poka – Yoke , el cual representa una práctica de manufactura esbelta diseñada especialmente para eliminar la producción de partes defectuosas, complementándose con técnicas estadísticas para el control de los procesos. El diseño de un Poka – Yoke se mantiene como tema de interés debido a la simplicidad de su funcionamiento y sus características intuitivas [4].

El concepto Japonés de Poke – Yoke significa asegurarse de que el proceso se realiza de forma correcta, evitando que se cometa algún error [5].

Por otro lado, el Poka Yoke es una técnica que identifica los errores humanos y busca las formas de eliminarlos, pero depende del grado de ocurrencia de estos errores para evitar su presencia en el futuro [6].

El proyecto se llevó a cabo en una empresa del sector automotriz ubicada en Silao, Guanajuato, dedicada a la fabricación de cinturones de seguridad, bolsas de aire y otras partes de interiores para automóviles. La empresa forma parte de un corporativo que integra plantas manufactureras en países como Japón, Tailandia, India y China.

La mencionada planta cuenta con alrededor de 300 empleados y entre sus clientes principales se encuentran las compañías automotrices Susuki y Mazda.

La empresa se encuentra en un mercado de alta competitividad y paga un alto precio por los errores cometidos, los cuales pueden afectar financieramente y llegar a limitar las futuras oportunidades de negocios, provocando pérdida de competitividad frente a sus adversarios en el mercado. Es por ello que la prevención y atención a los errores se presenta como una estrategia permanente.

Para el desarrollo de este proyecto, la empresa mostró un especial interés en la operación de costura de su línea de producción de cubiertas retráctiles para el espacio del porta equipaje utilizadas en camionetas SUV (Sport

Utility Vehicle), debido a la alta cantidad de defectos por variación y desperdicios que generaba, alcanzando niveles de hasta un 40% en la producción diaria.

En este contexto, el objetivo del proyecto plantea el diseño e implementación de un Poka – Yoke para reducir la variación en la operación de costura de cubiertas retráctiles porta equipaje, disminuyendo la cantidad de defectos así como los desperdicios y su impacto financiero en la organización.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del problema.

Actualmente la empresa realiza una operación de costura en la línea donde se produce una cubierta retráctil para porta equipaje, dicha línea de producción contempla otras 9 operaciones de trabajo, donde se realiza desde el corte de material hasta la inspección final del producto terminado en un rango de producción desde 400 hasta 500 piezas por día.

La operación de costura consiste en pasar la pieza con una cintilla adherible a través de la máquina de coser y realizar una costura recta en ambos lados de la cintilla.

La operación dependía en su totalidad de la experiencia y habilidad que tiene el operador para mantener una costura recta, observándose una amplia variación en las costuras.

Dichas variaciones provocaban que las piezas fueran rechazadas y por lo tanto consideradas como scrap (desperdicio), generando pérdidas económicas desde \$21,000.00 hasta \$23,000.00 USD al mes.

Metodología.

Las cubiertas retráctiles portaequipaje se utilizan para cubrir el espacio de la cajuela de los vehículos SUV. Las cubiertas se sujetan a un mecanismo de plegado elaborado con aluminio, del cual se desprende un forro de lona negra. Además, el forro de lona tiene una abertura para sujetarse a la puerta trasera del vehículo (Figura 1).



Figura 1. Forro de lona para la cubierta retráctil portaequipaje.

Las dimensiones de las cubiertas varían de acuerdo al modelo de vehículo para el que sean utilizadas.

La Figura 2 presenta la metodología seguida para el diseño e implementación del Poka - Yoke en la operación de costura [7].

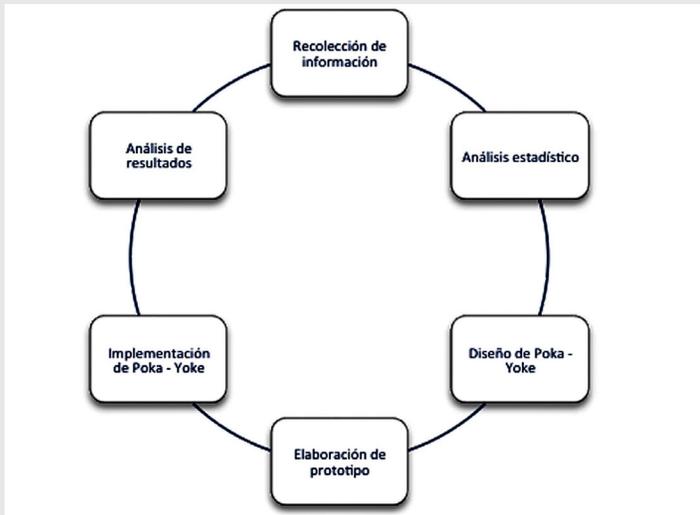


Figura 2. Metodología.

Como primer paso del análisis, se determinaron los puntos críticos de la fabricación de las cubiertas y se recolectó la información acerca de las fallas de ensamble más comunes en la operación de costura, utilizando información proporcionada por el área de calidad responsable de la línea de producción.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico para determinar las principales fuentes de variación en el proceso, dando como resultado una mayor incidencia del método y las herramientas de costura en la generación de defectos.

Después de analizar estos resultados, el diseño de un Poka - Yoke surgió como una opción viable para disminuir la variación en el proceso de costura, debido a que un Poka - Yoke representa una herramienta para alcanzar cero defectos en manufactura [8].

Una vez elaborado el diseño del Poka - Yoke, se procedió con la manufactura de un prototipo, el cual fue evaluado para su implementación en la línea de producción.

Análisis del método de costura.

La empresa proporcionó diez muestras para llevar a cabo el estudio en el proceso de costura, esto de acuerdo a sus políticas de confidencialidad. Inicialmente se realizó el análisis del método de costura en cinco muestras utilizando el análisis de varianza (ANOVA) de un factor, el cual se utilizó para medir las diferencias entre las varianzas [9].

Los resultados del análisis de varianza con cuatro grados de libertad (GL) presentaron una suma de cuadrados (SC) de 12.3, media cuadrática (CM) de 3.1 y un valor para el estadístico de f (F) de 0.27, con una probabilidad (P) de 0.894, esto se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. ANOVA.

ANOVA					
ANOVA	Unidireccional				
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	4	12.3	3.1	0.27	0.894
Error	20	228.1	11.4		
Total	24	240.5			

Lo anterior indicó una baja variación en las medidas de las muestras y un alto coeficiente de error, lo que llevó a la consideración de la existencia de otros factores en la variación de la costura.

La probabilidad normal generada con la información del análisis de varianza, se muestra en la Figura 3, la cual señala que la costura no fue constante con la media (recta), por que existen puntos fuera de ella (variación).

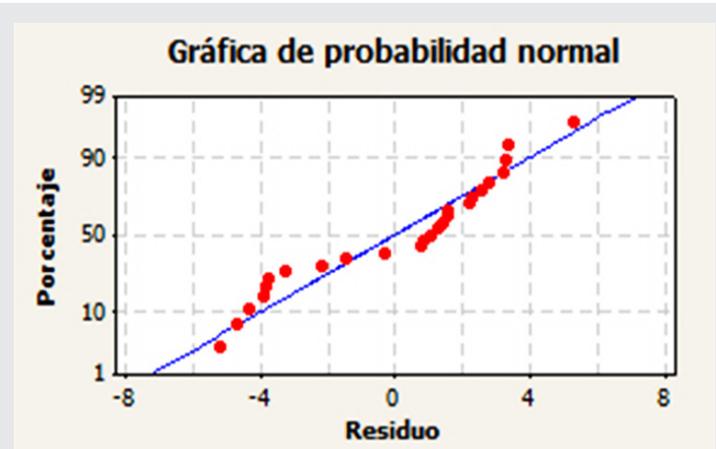


Figura 3. Probabilidad normal.

Por su parte, la Figura 4 muestra los ajustes generados con los valores de variación respecto a la media óptima de dos a cuatro milímetros y el histograma presenta valores de variación con respecto a la media óptima de dos a cuatro milímetros (Figura 5).

Debido a los resultados obtenidos con las cinco piezas iniciales, se decidió realizar un cuadrado grecolatino con las cinco piezas restantes. El cuadrado grecolatino se utiliza cuando se busca controlar tres fuentes de error o variabilidad [9], representados en este caso por las piezas, el método y la medición.

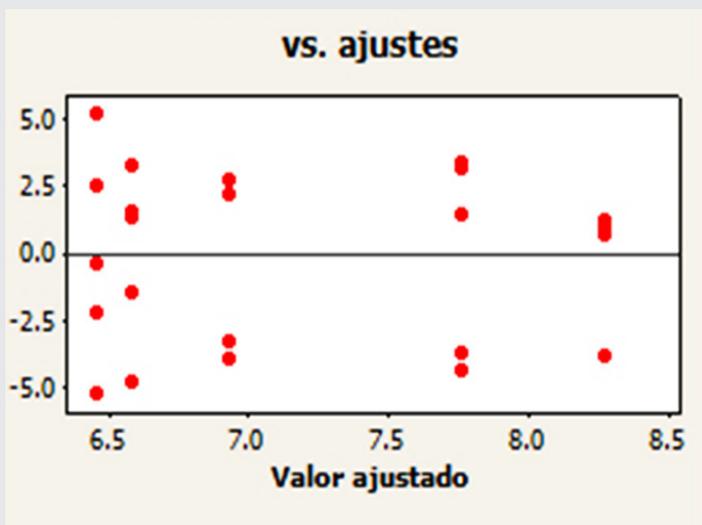


Figura 4. Valores de variación.

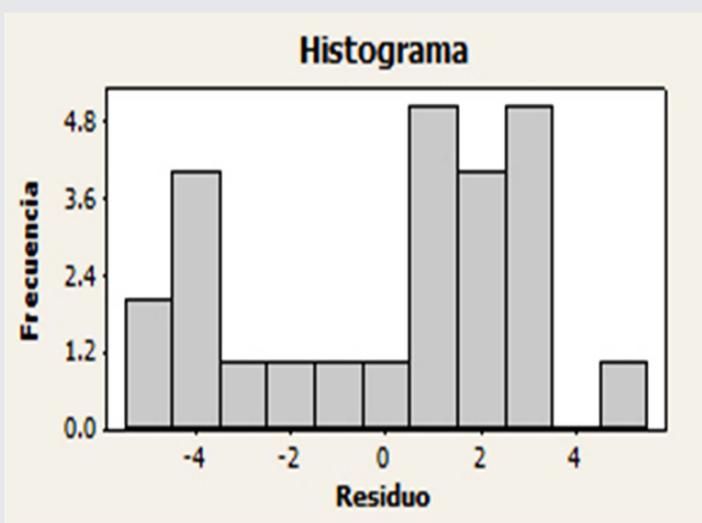


Figura 5. Histograma con valores de variación respecto a la media.

El cuadrado grecolatino en la Tabla 2, presentó una fuente de variación (VF) con mayor valor en el método de medición, así mismo en la suma de cuadrados (SS), los grados de libertad (GL), la media (MS) y el error (FO), lo cual indicó una oportunidad de mejora en el proceso.

Tabla2. Cuadrado grecolatino.

Cuadrado Grecolatino					
	FV	SS	GL	MS	F ₀
Pieza	Formulaciones	6.176984	4	1.544246	0.26750183
Método	Arreglos	152.728504	4	38.182126	6.61409434
Medición	Columnas	12.329544	4	3.082386	0.53394596
	Error	69.274112	12	5.77284267	
	Total	240.509144	24		

Los enfoques tradicionales en mejora de procesos, reducen la dependencia en las habilidades de los operadores por medio de un incremento en el nivel de tecnología en el ambiente de manufactura [10], por lo que la introducción de un Poka – Yoke resultó conveniente en la operación de costura para disminuir la variación.

Diseño de Poka – Yoke y método de costura propuesto. Para el diseño del Poka – Yoke se utilizó la metodología de rapid prototyping o prototipado rápido, consistente en una técnica de manufactura que se fundamenta en un modelado físico de los diseños, lo cual permite una mejor comprensión de las ideas en la etapa de desarrollo, ayudando a encontrar problemas potenciales. Además, con esta metodología, se utilizan modelos funcionales que pueden ser sometidos a pruebas en condiciones reales para estimar las características finales del modelo [12].

El proceso inicia con la simulación de experiencia del usuario por medio de un modelo manual creado con materiales sencillos y fáciles de obtener. Con ayuda de este primer modelo manual, se buscan los posibles errores del modelo para ser mejorados en el diseño.

Una vez realizadas las correcciones necesarias al diseño, se procede a la manufactura formal del prototipo y se pone a prueba.

Siguiendo esta metodología, se inició con el diseño y modelado (Figura 6), contemplando las siguientes características en el funcionamiento del Poka – Yoke:

- Fijación total del área de costura, con una cavidad paralela a la aguja de la máquina.
- Extensión del mecanismo para sostener el peso sobrante de la tela y este puede producir una variación que afecte la costura.
- Evitar la elevación de la tela con la distancia entre los rieles a la aguja de la máquina.
- Centrado del punto de apoyo para elevar la parte superior del mecanismo, distribuyendo el peso en la cuchilla con punta cuadrada que sostiene el peso al elevarse.

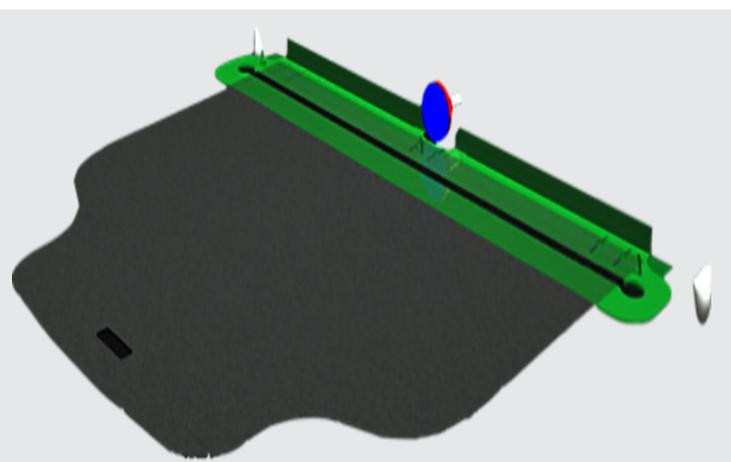


Figura 6. Diseño del Poka – Yoke.

RESULTADOS

Una vez realizado el diseño tridimensional del prototipo del Poka - Yoke, se procedió a realizar su manufactura, lo que se observa en la Figura 7, y a llevar a cabo las pruebas correspondientes a su funcionamiento en la línea de producción.



Figura 7. Colocación del Poka - Yoke.

Con la aplicación del Poka - Yoke se modificó el método de costura, introduciendo el material de forma horizontal, realizando un movimiento que permite presionar la tela para el cierre de la costura, la cual es liberada al terminar la operación para regresar al punto inicial y continuar con la siguiente pieza (Figura 8).

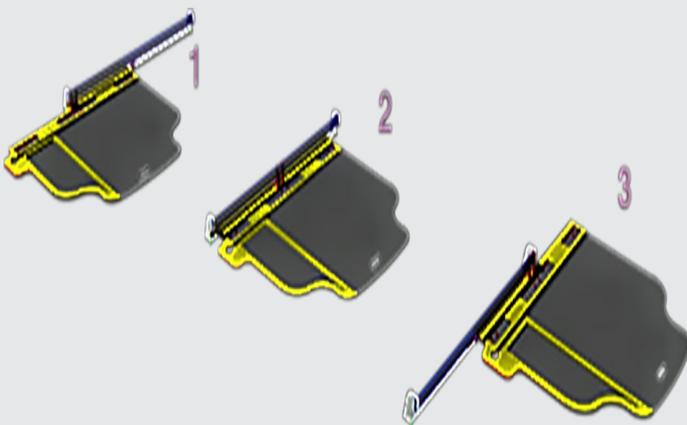


Figura 8. Funcionamiento del Poka - Yoke.

Además, el Poka - Yoke utilizó una guía para evitar el movimiento irregular producido por la fuerza del operador, respetando la velocidad de la máquina de coser.

El material seleccionado para elaborar el Poka - Yoke consistió principalmente en acrílico transparente, metal y un

tablero de fibra de densidad media (MDF). El acrílico fue seleccionado por su resistencia al impacto, peso ligero, transmisión de luz y estabilidad dimensional, mientras que el metal ofreció una mayor dureza para ser utilizado en la sección de costura. El MDF proporcionó una superficie de fácil manejo y de menor precio en comparación con el uso de madera tradicional.

Las partes de metal y acrílico fueron unidas por medio de calor, mientras que la parte de MDF fue unida utilizando tornillos y tuercas.

En forma complementaria se colocó una cubierta de goma antiderrapante en la parte inferior del Poka - Yoke, esto con el objetivo de aumentar la sujeción a la tela y evitar el movimiento durante la operación de costura. Además, se incluyeron rodamientos de aluminio para evitar la vibración en la guía de la tela.

La operación de costura tiene una especificación de cero defectos. Sin embargo, antes de la implementación del Poka - Yoke, los defectos generados particularmente en la operación de costura ascendían a más del 50%. Con la utilización del Poka - Yoke se eliminaron al 100% los defectos, cumpliendo así con la especificación de la operación.

CONCLUSIONES

Con la implementación del Poka - Yoke en la línea de producción se eliminaron al 100% los defectos en la operación de costura, los que anteriormente representaban el rechazo de un 40% de la producción total de cubiertas en las auditorías de calidad realizadas al proceso, generando pérdidas económicas de hasta \$276,000.00 USD anuales relacionadas únicamente con la operación de costura (Figura 9).

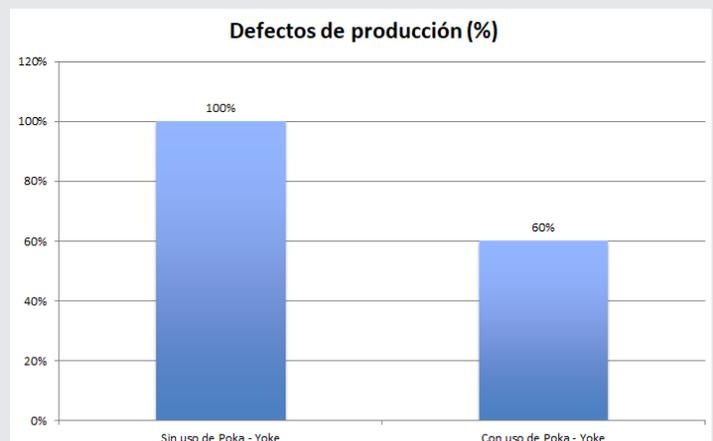


Figura 9. Reducción de defectos en la producción total.

Adicionalmente, los beneficios obtenidos en la línea de producción incluyeron la disminución en un 50% al tiempo en la curva de aprendizaje con personal de nuevo ingreso.

Con el ahorro generado por la utilización del Poka - Yoke en el área de costura, la empresa aumentó sus ganancias.

cias en un 20% para el siguiente año, permitiéndole invertir en el crecimiento de su capacidad instalada y abriendo la oportunidad para la implementación de proyectos de mejora en otras áreas críticas del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Padilla, R. (2008). *Evolución reciente y retos de la industria manufacturera de exportación en Centroamérica, México y República Dominicana*. México, D.F.: CEPAL.

[2] OIT (2005). *LIBROS. Revista Internacional del Trabajo*. 124, 127-148.

[3] Nieuwenhuis, P., Wells, P. (2015). *The global automotive industry*. Chichester, UK: Wiley.

[4] Abreu, T., Duarte, J.L., Vidor, G., (2012). A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*. 31(3), 358 - 366.

[5] AL-Taha, M.D. Jalham, I.S.(2015). A structural equation model and a statistical investigation of lean-based quality and productivity improvement. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 26(3), 571 - 583.

[6] Lopes, M. E. R. F., Forster, C. H. Q. (2013). Application of human error theories for the process improvement of Requirements. *Engineering, Information Sciences*. 250, 142-161.

[7] Vinod, M., Devadasan, S.R., Sunil, D.T. et al. *Int J Adv Manuf Technol* (2015) Six Sigma through Poka-Yoke: a navigation through literature arena. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 81: 315-327.

[8] Díaz M., A. (2013). *Estadística aplicada a la administración y la economía*. México, D.F., McGraw-Hill Interamericana.

[9] Spiegel, M. R., Stephens, L. J. (2009). *Estadística* (4a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.

[10] Hong, K., Nagarajah, R., Iovenitti, P., & Dunn, M. (2007). A Sociotechnical Approach to Achieve Zero Defect Manufacturing of Complex Manual Assemblies. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 17 (2), 137-148.

[11] Vargas H, L, Córdoba N. E. (2004). Calidad superficial en el prototipado rápido, proceso FDM. *Ingeniería e Investigación*. 56, 28 - 32.

[12] Vargas H, L, Córdoba N. E. (2004). Calidad superficial en el prototipado rápido, proceso FDM. *Ingeniería e Investigación*. 56, 28 - 32.



Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Contribución al conocimiento de la langosta de profundidad (*Panulirus interruptus*) de la costa noroccidental de Baja California

RESUMEN: Con el objeto de localizar zonas alternativas de mayor profundidad que las empleadas actualmente para la pesca de la langosta roja (*Panulirus interruptus*) de la costa occidental de Baja California, la que constituye el objetivo tradicional de las cooperativas pesqueras de este estado, se efectuó una campaña de pesca exploratoria con trampas langosteras en las zonas concesionadas de la Cooperativa de Producción Pesquera "Bahía Tortugas". Entre enero-febrero 2015 y junio-agosto 2016, realizando un total de 50 salidas por ambos estudios, 20 salidas en el 2015, con 80 trampas entre 70 y 110 m de profundidad y 30 salidas de pesca en el 2016, en las que se caló un total de 265 trampas entre 80 y 500 m de profundidad. En estas experiencias se utilizaron trampas langosteras con ligeras modificaciones. Los crustáceos capturados y rango de profundidad respectivo correspondieron a: langosta roja (*P. interruptus*) entre 120 y 420 m; cangrejo amarillo (*Cancer anthonyi*) 100-500m; cangrejo araña (*Loxorhynchus grandis*) de 90 y 130 m, y cangrejo secretaria (*Cancer sp.*) a profundidades entre 90 y 270 m. Estos cangrejos representan un potencial recurso pesquero, tanto por su abundancia como por la amplia distribución geográfica y batimétrica, así como su valor comercial.

PALABRAS CLAVES: *Panulirus interruptus*, pesca exploratoria, trampas langosteras.



Colaboración

Jorge Flores Olivares; Emmanuel Vázquez Olivares; Antonio Murillo Olmeda, Instituto Tecnológico de Mazatlán

ABSTRACT: In order to locate alternative zones of greater depth than those currently used for the fishing of the spiny red lobster (*Panulirus interruptus*) of the western coast of Baja California, which is the traditional objective of the fishing cooperatives of this state, an exploratory fishing campaign with lobster traps around the concession areas of the "Bahía Tortugas" Fisheries Production Cooperative. Between January-February 2015 and June-August 2016, a total of 50 fishing trips were made for both studies, 20 trips in 2015, with 80 traps between 70 and 110 m depth and 30 fishing trips in 2016, in which a total of 265 fishing traps were set between 80 and 500 m deep. In these experiments lobster traps were used with slight modifications. The captured crustaceans and respective depth range corresponded to: spiny red lobster (*P. interruptus*) between 120 and 420 m; Yellow crab (*Cancer anthonyi*) 100-500m; Crab spider (*Loxorhynchus grandis*) of 90 and 130 m, and crab secretary (*Cancer sp.*) between 90 and 270 m depths. These crabs represent a potential fishery resource, both for its abundance as well as the wide geographical and bathymetric distribution, as well as its commercial value.

KEY WORDS: exploratory fishing, *Panulirus interruptus*, traps.

INTRODUCCIÓN

La langosta roja (*Panulirus interruptus*) pertenece a la familia Palinuridae, se distribuye en el ambiente templado de la corriente denominada California desde San Luís Obispo, California, EUA., hasta Isla Margarita, BCS., México y destaca por su alto valor económico (5,16). Habita en áreas rocosas en las que se puede encontrar generalmente un tipo de vegetación dominante compuesto de algas gigantes (*Macrocystis pirifera*), algas coralinas (*Corralina chilensis*) y otras algas. Los ejemplares de tamaño medio y pequeño generalmente se congregan en los diferentes refugios y las langostas de gran tamaño normalmente se encuentran solas. Se ha determinado que las variaciones espacio-tiempo son influenciadas por las variaciones de temperatura y eventos como El Niño o las surgencias(14) y en el caso particular de la langosta. El Niño promueve una maduración temprana de adultos y una aceleración significativa en el desarrollo embrionario[9,14].

La "langosta roja" (*P. interruptus*) presenta un movimiento migratorio estacional que está relacionado con las variaciones estacionales del agua. *Panulirus interruptus* tiene una temporada de reproducción bien definida en primavera-verano o verano-otoño de hembras que presentan eclosión de 1-2 meses desde la ovoposición, y encontrando el mayor al reportado por Chapa (1964)(1) de normalmente 2 a 30 m y un máximo de 90 m, por lo tanto se propuso en el presente estudio, realizar una prospección por medio de la pesca exploratoria para determinar la presencia de langosta roja (*Panulirus interruptus*) entre los 70 y 110 m durante el periodo de enero-febrero, previo al inicio del periodo de veda del 2015, así como una segunda campaña de pesca, en un rango de profundidad entre los 80 y 500 metros durante junio-agosto, 2016, periodo correspondiente al final de la temporada de veda langostera. Esto con la finalidad de determinar si aún la mayoría de las hembras se encontraban en aguas someras, corroborando así, que su distribución en dichas profundidades durante el periodo de estudio estaría influenciado por el patrón migratorio reproductivo de la población o bien detectar la presencia de numerosos organismos pescables en aguas más profundas.

METODOLOGÍA

En la costa occidental de la Península de Baja California fueron seleccionadas diferentes zonas de pesca para los estudios realizados en a) enero - febrero 2015 y b) junio-agosto 2016. Todas las zonas de estudio se encuentran en el área concesionada de la Cooperativa pesquera "Bahía Tortugas". El rango de profundidad donde se llevó a cabo esta investigación fue de 70-110m enero-febrero 2015 y 80 a 500 m junio-agosto 2016. Cada punto con tres profundidades diferentes dentro de esos rangos (Tabla 1 y 2).

a) Enero-febrero 2015, se consideró Loberas-Punta Quebrada y Clam Bay (Tabla 1).

b) Junio-agosto 2016, se contemplaron las áreas, Rincón y Loberas-Punta Quebrada, subdivididas en: Rincón sur (3 puntos), Rincón centro, (4 puntos) y Loberas-Punta Quebrada (3 puntos), (Tabla 2).

Tabla 1. Zonas y rangos de profundidad en que se efectuaron los lances experimentales en el estudio 2015.

Zona	Línea	No. de trampas	Posición inicial	Posición final	Profundidades cubiertas (m)
Loberas-Punta Quebrada					
1	D1-L1	9	27°41'296"N 115°04'391"W	27°40'259"N 115°01'341"W	40-45 Bz
2	D2-L2	9	27°40'432"N 115°02'200"W	27°40'511"N 115°05'270"W	40-50BZ
3	D3-L3	27	27°40'222"N 115°06'060"W	27°40'497"N 115°02'350"W	50-60BZ
Clam Bay					
1	Q3-L3	9	27°37'058"N 114°56'219"W	27°35'599"N 114°54'946"W	40-48 BZ
2	Q3-L2	9	27°37'925"N 114°56'619"W	27°34'890"N 114°54'747"W	40-50 BZ
3	Q3-L1	9	27°35'656"N 114°56'520"W	27°36'352"N 114°57'734"W	48-63Z

Tabla 2. Zonas y rangos de profundidad en que se efectuaron los lances experimentales en el estudio 2016.

Zona	Línea	No. de trampas	Posición inicial	Posición final	Profundidades cubiertas (m)
RINCÓN					
Sur 1	D1-L1	30	27°35'010 N 114°52'440 W	27°34'726 N 114°52'891 W	98-120
Sur 2	D1-L2	30	27°34'373 N 114°53'635 W	27°33'883 N 114°53'659 W	139-149
Sur 3	D1-L3	30	27°32'901 N 114°55'883 W	27°32'940 N 114°55'5444 W	238-280
Centro 1	D2-L1	30	27°35'453 N 114°55'467 W	27°35'087 N 114°55'161 W	131-150
Centro 2	D3-L1	30	27°37'092 N 114°56'206 W	27°36'617 N 114°56'256 W	93-102
Centro 3	D3-L2	30	27°36'565 N 114°57'406 W	27°36'062 N 114°57'400 W	120-121
Centro 4	D3-L3	15	27°35'253 N 114°58'101 W	27°34'751 N 114°58'051 W	272-323
Loberas-Punta Quebrada					
1	Q3-L3	20	27°39'426 N 115°07'060 W	27°39'101 N 115°07'172 W	200-420
2	Q3-L2	30	27°39'710 N 115°05'639 W	27°39'404 N 115°05'.744 W	121-136
3	Q4-L1	20	27°39'494 N 115°08'033 W	27°39'170 N 115°07'.934 W	355-512

Los lances experimentales fueron hechos en forma georeferenciada empleando una embarcación clasificada como camaronero típico propiedad de la cooperativa "Bahía Tortugas" con una Eslora de 15 m, manga

de 4 m y tonelaje bruto de 6 ton, y adaptado para pescar con líneas de trampas langosteras, mediante la instalación de un cobra-líneas y la adecuación de la cubierta para el manejo de las trampas. El arte de pesca consistió en 3 líneas de trampas, cuyas dimensiones fueron de una longitud de 0.60 m y ancho de 1.26 m empleando paño de red nylon; 2a=70 mm y diámetros de: $d_{sup}=80$ y $d_{inf}=70$ mm Las trampas fueron construidas específicamente para la captura de langosta de profundidad y se agruparon a razón de 30 unidades por cada línea o tren de trampas. Adicionalmente, se construyeron 50 unidades de trampas con el objeto de sustituir trampas dañadas durante los trabajos de pesca.

Se empleó el polipropileno de 6 mm como el material adecuado tanto para el orinque como para la línea madre. La longitud de los orinques fue de un 25% respecto a la profundidad de calado. En la línea madre se colocó cada 25 m un reinal confeccionado con polipropileno de 6 mm de diámetro, a los cuales se anudaron las trampas mediante el cabo de las mismas. Para asegurar la flotabilidad se emplearon flotadores de 12 kg. de fuerza de flotación, así como banderolas para su localización. Un total de 265 trampas fueron encarnadas con sardina Monterrey (8) y se colocaron en el fondo, en profundidades de 70 a 110 m en los meses enero - febrero 2015 y de 80 a 500 m en los meses junio - agosto 2016. Una vez colocadas, se revisaron cada 24 horas. Las muestras colectadas fueron almacenadas en bolsas plásticas, consignándose datos relativos al número del lance, hora de calado, hora de virado y profundidad. En el laboratorio de la Cooperativa "Bahía Tortugas", se contó el número de organismos registrándose la longitud del cefalotórax y peso total siguiendo el criterio de Vega y Col. (2006) [15], usando Vernier de 0,05 mm de precisión y balanza digital de 6 kg de capacidad con 0,1 g de precisión respectivamente. Posteriormente, se determinó la composición y cantidad de organismos por especie con las claves propuestas por INP, 1976 [7]. A las especies de cangrejo capturadas incidentalmente más abundantes se les aplicó el mismo procedimiento para registrar su talla y peso. Se estableció para cada especie una regresión entre la longitud del cefalotórax (LC) (mm) y el peso (g). Se determinó la estructura de tallas por medio de una distribución de frecuencia con intervalos de 10 mm de LC. Se calculó el rendimiento por pesca promedio de la línea, usando la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{captura (Kg)}}{\text{trampa}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Para obtener las variaciones de la temperatura superficial media (TSM) se partió de imágenes satelitales de composiciones semanales provenientes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite Aqua, ob-

tenidos vía Internet de las temperaturas de fondo se obtuvieron por medio de 3 DST llamados "Data logger" que fue instalado en la línea de las trampas instaladas para la captura de la langosta de profundidad. Los datos registrados se almacenaron en la memoria interna del registrador con una referencia en tiempo real para cada medición. Después de recuperar los datos grabados del Data logger fueron vaciados a una computadora con el software de soporte, donde se mostraron los resultados tanto en forma gráfica y tabular. A través de un tratamiento digital de las imágenes, se analizaron particularmente los eventos de surgencia, considerando tres características: localización geográfica, intensidad y frecuencia (periodicidad).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona costera norte de acuerdo a los datos proporcionados por composiciones diarias y semanales obtenidas de MODIS-AQUA a una resolución de 1 km, tanto para el estudio enero-febrero 2015 y junio-agosto 2016 se apreciaron bajas temperaturas <16 °C, lo que sugiere la presencia de surgencias costeras (Ensenada). En la zona sur (Bahía Tortugas). Al sur, en la zona de Bahía Tortugas donde se realizaron los lances experimentales, las temperaturas en la zona costera fluctuaron entre los 23-26 °C, favoreciendo la actividad reproductiva y desarrollo larvario de la langosta roja [10]. Es posible que estas temperaturas estuvieran influenciadas por la presencia de El Niño el cual se sabe es un factor importante en las variaciones climáticas, la estructura del ecosistema dentro del área de influencia de la corriente de California y proceso reproductivo de la langosta roja [2,12], promoviendo una maduración temprana de adultos y una aceleración significativa en el desarrollo embrionario(9). En contraste las temperaturas de fondo encontradas a las profundidades donde se colocaron las trampas durante el periodo de estudio fluctuaron entre 11.8 y 20.6 °C con un promedio de 18.8°C, coincidiendo con las temperaturas y profundidades correspondientes reportadas en el estudio enero - febrero 2015.

De las especies de crustáceos capturadas en la zona de estudio enero-febrero 2015 el 17% correspondió a langosta roja (*P. interruptus*), el 6% a cangrejo araña (*Loxorhynchus grandis*) y el resto 77% cangrejo amarillo (*Cancer anthonyi*; en tanto que para el estudio junio-agosto 2016, únicamente el 5.0% correspondió a la langosta roja (*P. interruptus*) y en el resto de la captura, el 50% al cangrejo secretaria (*Cancer sp.*), 30% al cangrejo amarillo (*Cancer anthonyi*) y 15% cangrejo araña (*Loxorhynchus grandis* (tablas 3 y 4). En la Tabla 5 se encuentran concentradas las tallas y pesos de las langostas rojas (*P. interruptus*) capturadas a diferentes profundidades donde el promedio de la longitud del cefalotórax fue de 86.8 mm y del peso de 648 g.

Tabla 3. Tallas y pesos registrados en los tres tipos de cangrejos obtenidos como captura incidental 2015.

Nombre común	Nombre científico	Talla mínima (mm)	Talla máxima (mm)	Talla promedio (mm)	Peso promedio (g)
Cangrejo amarillo	<i>Cancer anthonyi</i>	96	158	127	620
Cangrejo araña	<i>Loxorhynchus grandis</i>	82	133	107.5	703g

Tabla 4. Tallas y pesos registrados en los tres tipos de cangrejos obtenidos como captura incidental 2016.

Nombre común	Nombre científico	Talla mínima (mm)	Talla máxima (mm)	Talla promedio (mm)	Peso promedio (g)
Cangrejo amarillo	<i>Cancer anthonyi</i>	110	74	179	320
Cangrejo araña	<i>Loxorhynchus grandis</i>	78	131	102.6	702
Cangrejo secretaria	<i>Cancer sp.</i>	70	145	122.7	244.3

Tabla 5. Longitud y peso de las langostas capturadas en las diferentes profundidades durante el periodo de estudio 2015 y 2016.

Estudios	Enero-febrero 2015			Junio-agosto 2016		
	Profundidad (m)	Langostas	L.Cefalotorax (mm)	Peso (g)	Langostas	L.Cefalotorax (mm)
70-178	64	80	506.7	2	86.5	601
178-286	0			1	87.1	690
286-394	0		-	0	-	
394-502	0			1	87.3	700
Promedio	64	80	506.7	4	86.9	663.6

Las tallas y pesos correspondieron a 64 hembras adultas en el estudio realizado en enero - febrero 2015 y 4 hembras adultas en el estudio I en junio - agosto 2016 (Tabla 5), etapa en que el espermatóforo está recién depositado y tiene una consistencia pegajosa de color blanco. De hecho la talla promedio del cefalotorax 86.8 mm es superior a la talla mínima legal de captura que es de 82.5 mm(10). Además, dicha talla es mayor que la mayoría de las langostas capturadas en el 2015. La talla promedio también podría indicar que son organismos relativamente viejos y solitarios en particular así lo demuestra el estudio 2016, por que al comparar las cuatro langostas en talla y peso, están relativamente mas grandes y pesadas con relación a las capturadas en 2015, especialmente si se considera que según Vega (2003)[14] la talla de primera madurez *P. interruptus*, es de 72.6 mm LC y Espinoza y Col. (2001)(4) de 94.1 mm o más aun considerando que Pineda y Col. (1981)[11] establecieron que individuos con 72.5 mm LC son reclutas.

Usando los datos reportados en el estudio realizado en el 2015 y 2016 se hizo la relación talla-peso obteniéndose la siguiente ecuación: $y = 16.904e^{0.419x}$, resaltando que la mayoría de los organismos se encuentran entre los 75 y 85 mm de LC, ubicando a los capturados en 2016 como aquellos que tienden a ser menos abundantes y presumiblemente de mayor edad. La tendencia a una disminución de la concentración de organismos conforme aumenta la profundidad comprobándose al unir las rendimientos pesqueros del 2015 y 2016 (Tabla 5) evidenciando que al menos durante la época de veda no hay organismos de talla comercial en profun-

didades más allá de las tradicionalmente usadas para la pesca comercial de la langosta roja (*P. interruptus*) desde los 2 hasta los 70 m [1]. De manera similar con los datos de rendimiento pesquero que observamos en el estudio del 2015 y 2016 se obtiene una correlación negativa entre el rendimiento pesquero y la profundidad cuya ecuación es: $y = -2.104 \ln(x) + 11.072$, indicando que las capturas tienden a disminuir conforme aumenta la profundidad. La distribución natural de las langostas, excepto en su etapa larvaria, es en la zona sublitoral principalmente a profundidades hasta de 30 metros, aunque pueden presentarse a profundidades mayores a lo largo de la plataforma continental [1] y tienden a concentrarse en las aguas más someras (de 3 a 6 m) que empieza con el movimiento de las hembras cargadas con los espermatóforos, en los comienzos de la primavera evidenciándose cuando los machos adultos también se incorporan. Esto explicaría la razón por la cual la mayoría de los organismos reportados en el estudio 2015 fueron capturados en términos de rendimiento entre 70 y 80 m y a un máximo de profundidad de 110 m, especialmente considerando que dicho año fue sujeto a la influencia del Fenómeno de El Niño. Dado la poca evolución en los últimos años de las pesquerías mexicanas, tanto en volumen como en valor, la necesidad de contar con nuevas pesquerías se ha vuelto una prioridad para una diversificación del aparato productivo pesquero nacional, contribuyendo con la generación del conocimiento sobre nuevas pesquerías emergentes que coadyuven con los planes sectoriales y de producción del país [6], así como la posibilidad ampliar las zonas de pesca a mayor profundidad, como es el caso de la langosta roja de la costa occidental de la Baja California lo cual se demuestra en las capturas obtenidas en el año 2015 y 2016 (Tabla 2). En este sentido se puede establecer que la captura incidental registrada correspondió a tres tipos de cangrejos: Cangrejo amarillo, Cangrejo araña, para el estudio realizado en el año 2015 y los antes mencionados, así como el Cangrejo secretaria para el estudio realizado en el 2016, que de acuerdo a la composición por tallas, peso y relaciones biométricas (Tabla 4, 5, 6 y 7) representan un potencial pesquero, sujeto a evaluarse en futuras investigaciones mediante pesca exploratoria con trampas [3,13].

Tabla 6. Tallas, pesos y curvas de regresión obtenidas de las relaciones talla-peso de los tres tipos de cangrejos obtenidos como captura incidental 2015.

Nombre común	Nombre científico	Ecuación	r ²
Cangrejo amarillo	<i>Cancer anthonyi</i>	$Y = 61.331e^{0.0164x}$	0.8224
Cangrejo araña	<i>Loxorhynchus grandis</i>	$Y = 39.866e^{0.024x}$	0.8504

Tabla 7. Tallas, pesos y curvas de regresión obtenidas de las relaciones talla-peso de los tres tipos de cangrejos obtenidos como captura incidental 2016.

Nombre común	Nombre científico	Ecuación	r ²
Cangrejo amarillo	<i>Cancer anthonyi</i>	$Y = 0.0024e^{2.4824x}$	0.9693
Cangrejo araña	<i>Loxorhynchus grandis</i>	$Y = 11.978 e^{0.0372x}$	0.9573
Cangrejo	<i>Cancer sp.</i>	$Y = 3.689 e^{0.336x}$	0.9151

CONCLUSIONES

1) El área de estudio quedó limitada al norte por aguas con bajas temperaturas especialmente en febrero de 2015 (<16 °C), lo que sugiere la presencia de la influencia del sistema generado por la Corriente de California, es decir una surgencia adelantada que regularmente se presenta al inicio de la primavera y ahora este mismo fenómeno en febrero de 2015 y contrariamente no se presentó la surgencia alguna (típica del verano) en la zona durante julio y agosto de 2016 ; 2) Al sur, (verano, 2016), en la zona de Bahía Tortugas donde se realizaron los lances experimentales, las temperaturas en la zona costera fluctuaron entre los 23-24 °C, presumiblemente favoreciendo la actividad reproductiva y desarrollo larvario de la langosta roja en aguas poco profundas; 3) Como consecuencia de estas temperaturas bajas durante el periodo de junio - agosto del 2016, próximo al final de la época de veda, únicamente se obtuvo el 5% de langosta roja del total de los crustáceos capturados, indicando que la mayoría de los organismos se encontraban en aguas poco profundas debido a migraciones de tipo reproductivo; 4) La fauna de acompañamiento correspondió a tres tipos de cangrejos que de acuerdo a sus características y relaciones biométricas representan un potencial pesquero, sujeto a evaluarse en futuras investigaciones, y 5) En este trabajo queda demostrado que existen recursos pesqueros de profundidad con importancia económica y comercial, particularmente la langosta de profundidad y su fauna asociada. Así mismo, no es recomendable tratar de pescar langosta roja en zonas más profundas que las tradicionales durante la temporada de veda, asumiendo que organismos pudieran haber migrado de las aguas someras a profundas de más de 500 m, así mismo, se debe de proponer otro estudio para la búsqueda de la langosta de profundidad en el invierno de los años venideros, por último, se puede recomendar en todo caso habría que dirigir el esfuerzo en el verano a la pesca de cangrejos con potencial pesquero.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Chapa, S. (1964). *Contribución al conocimiento de la Langosta del Pacífico Mexicano y su Pesquería*. Instituto Nacional de Investigación Pesquera. 6: 1-68.
- [2] Chávez, A.; Chávez, E. (2016). *The California lobster fishery and climate in the kelp bed ecosystem*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 51(3): 629-641.
- [3] DFO. (2000). *Inshore Gulf of Maine Rock Crab (Cancer irroratus)*. DFO Science Stock Status Report C-3 67.
- [4] Espinoza, C.; Vega, A.; Gómez, C. (2001). *Resultados del estudio de prospección y evaluación poblacional de langosta roja P. interruptus en la Laguna Ojo de Liebre, BCS, en el marco del Permiso 53 de Pesca de Fomento número 11199-213-03-diciembre 1999 a diciembre 2000*. Informe de Investigación. CRIP-La Paz/INP.
- [5] FAO (2012). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. ISBN 978-92-5-107225-7. Roma, Italia.
- [6] Flores, J.; Chávez, O.; Jiménez, Q. (2009). *Captura de Eptatretus stoutii frente a la Costa Noroccidental de la Baja California, México, 2006-2008*. *Ciencia Pesquera*. 2(17): 53-64.
- [7] INP (1976). *Catálogo de Peces Marinos Mexicanos*. Secretaría de Industria y Comercio. Subsecretaría de Pesca, Instituto Nacional de la Pesca. México, D. F., México.
- [8] Nevárez, M.; Balmori, A.; Miranda, E.; Tenorio, F.; Cervantes, C.; Anguiano, M.; Santos, J. (2005). *Diseño y construcción de trampas para peces marinos en el Golfo de California*. Informe Técnico, Instituto Nacional de la Pesca, CRIP Guaymas. Guaymas, Sonora, México.
- [9] Ortuño, G. (2010). *Larvas filosoma de langosta roja (Panulirus interruptus) durante el año 2000*. En: Gaxiola, G. y Durazo, R., (eds). *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007*. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California, SEMARNAT-INE-CICESE-UABC, México: 365-380.
- [10] Pérez, R. (2011). *Catch composition of the spiny lobster Panulirus gracilis (Decapoda: Palinuridae) off the western coast of Mexico*. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 39(2): 225-235.
- [11] Pineda, J.; Díaz de León, A.; Uribe, F. (1981). *Fecundidad de la langosta roja Panulirus interruptus (Randall, 1842) en Baja California*. *Ciencia Pesquera*. Instituto Nacional de Pesca. Departamento de Pesca. México. (1): 99-118.
- [12] Solano, A.; Tresierra, A.; García, N.; Dioses, T.; Marín, W.; Sánchez, C.; Wosnitzka, M. (2008). *Biología y Pesquería del Perico*. Callao- Perú.
- [13] Stewart, J.; Ferrell, D. (2003). *Mesh selectivity in the New South Wales demersal trap fishery*. *Fish. Res.* 59: 379-392.
- [14] Vega, A. (2003). *Reproductive strategies of the spiny lobster Panulirus interruptus related to the marine environmental variability off central Baja California, Mexico: management implications*. *Fisheries Research*. 65: 123-135.
- [15] Vega, A.; Espinoza, G.; Gómez, C. (2006). *Pesquería de langosta Panulirus sp.* En: Casas, M.; Ponce, G., (Eds.). *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur*: 227-260.



Mecánica
de
Materiales

Ingeniantes

Medición de la alteración del peso en el mármol tipo Café Tabaco mediante una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio



Colaboración

Adolfo Manuel Morales Tassinari; Javier Guevara Rivera; Pedro Cruz Ortega, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez; Jorge Arturo Hernández Zárate, Instituto Tecnológico de Veracruz

RESUMEN: La presente investigación tiene como propósito realizar una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio, para determinar el porcentaje de pérdida de peso en el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera localizada en Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. La prueba de cristalización de sales consistió de secado a 60 ± 2 °C durante 16 h, enfriamiento a temperatura ambiente durante 2 h e inmersión en solución de cloruro de sodio al 16% durante 6 h. La prueba se repitió durante 15 ciclos. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera tiene un porcentaje de pérdida de peso del 0.31% con una desviación estándar del 0.19%. De esta forma, el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera presenta una alteración baja; sin embargo, este material presenta agrietamientos y rupturas lo cual afecta sus cualidades estéticas.

PALABRAS CLAVE: Alteración, cloruro de sodio, cristalización de sales, mármol, pérdida de peso.

ABSTRACT: This research has the purpose to do a salt crystallization test by sodium chloride to determinate the percentage of weight lost in the marble type Coffee Tobacco extracted from the quarry located in Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. The salt crystallization test consisted of drying at 60 ± 2 °C for 16 h cooling to room temperature for 2 h and immersion in sodium chloride solution for 6 h. The test repeated for 15 cycles. The results obtained in this research show that the marble type coffee tobacco extracted from the quarry has a percentage of weight lost of 0.31%, with a standard deviation of 0.19%. In this way, the marble type coffee tobacco extracted from the quarry presents a low alteration; however, this material presents cracks and ruptures which affect its aesthetic qualities.

KEYWORDS: Alteration, sodium chloride, salt crystallization, marble, weight lost.

INTRODUCCIÓN

Una roca se define como una asociación inorgánica de uno o varios minerales originados en forma natural por procesos geológicos endógenos o exógenos [1]. Además, la naturaleza y el aspecto de una roca están fuertemente influidos por los minerales que la componen; por lo que, la composición mineral y la textura de una roca son el reflejo de los procesos geológicos que la crearon [2].

Una de las rocas comúnmente utilizadas por su belleza es el mármol, que se define como una roca carbonatada que tiene una distintiva textura cristalina por recristalización, frecuentemente por calor y presión durante el metamorfismo [3]. El mármol está compuesto principalmente por minerales de calcita y dolomita, también suele tener diversos silicatos aunque en muy pequeña cantidad [4]; además, los cristales de calcita son de tamaño submicroscópico, de atractivas coloraciones y tienen un intenso brillo cuando son pulidos [5].

En la localidad de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existe una cantera de mármol tipo Café Tabaco como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Cantera de mármol tipo Café Tabaco

El mármol tipo Café Tabaco es una roca metamórfica de color café oscuro con vetas color claro que no tienen un patrón de orientación y que, al ser pulido, presenta gran brillo, como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Mármol tipo Café Tabaco.

Las rocas inmersas en un determinado ambiente durante cierto tiempo, tienden a alterarse; es decir, sufren cambios en su naturaleza, que pueden manifestarse en su aspecto externo (color, estado de agregación...) o en su comportamiento (dureza, re-

sistencia...) [6]. De esta manera, en el deterioro de una roca influyen factores intrínsecos (naturaleza, composición y propiedades) y factores extrínsecos (medio ambiente y agentes externos) que determinarán el mecanismo de alteración afectando al material puesto en obra, ya sea físico, químico o biológico [7]. Por ejemplo, en los ambientes costeros el agua de mar penetra la superficie de la piedra y daña sus partes interiores, tanto por presiones de cristalización de sales y disolución de minerales [8].

Así, la cristalización de sales es uno de los importantes mecanismos de alteración de las rocas [9]; a decir, la cristalización de sales se da cuando una disolución rica en sales entra en el interior del sistema poroso de una roca, precipitando fases minerales salinas cuya cristalización genera una determinada presión [10]. Por lo tanto, la cristalización de sales induce tensiones dentro de los poros de las rocas [11], provocando una pérdida de coherencia entre los granos y la matriz; además, el ciclo de disolución y cristalización causa pérdida de peso, un cambio en el tamaño de los granos y poros, ruptura y el deterioro visible de la superficie [9].

De esta manera, la cristalización de sales puede limitar la durabilidad de las rocas de construcción; además, la durabilidad está relacionada con sus propiedades físicas y su resistencia [11]. A decir, la durabilidad es la capacidad de resistir el deterioro y mantener el tamaño y forma de los cristales, la resistencia mecánica, la densidad, la porosidad, la velocidad de propagación de las ondas de ultrasonido, la permeabilidad, la rugosidad, el color y el aspecto estético, originales [12].

Dicho lo anterior, la prueba de cristalización de sales es un ensayo de durabilidad que trata de reproducir de forma acelerada la alteración sufrida en un material expuesto a condiciones ambientales extremas [10]; como resultado de la prueba, los daños se atribuyen al incremento de volumen debido al proceso de cristalización y en especial a los de hidratación de las sales, sobre todo cuando dichos procesos tienen lugar en el interior de los poros [13].

El presente estudio tiene como finalidad realizar una prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio en el mármol tipo Café Tabaco proveniente de la cantera ubicada en la localidad de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, para determinar el porcentaje de pérdida de peso y la alteración visual sufrida, reproduciendo los daños que puede sufrir el material en ambiente costero.

MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V., procesó las probetas para la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio; así, de las probetas procesadas, se seleccionaron 12 probetas de acuer-

do al color característico café oscuro y, que cada cara tuviera una dimensión de 50 ± 0.5 mm.

Ahora bien, a cada probeta seleccionada se le eligió una cara para que se lijara y puliera en una pulidora marca MTI KJ GROUP modelo UNIPOL-820; esto se realizó, para eliminar el exceso de rugosidad superficial proveniente del proceso de corte. Para el lijado y pulido se utilizaron lijas con tamaño de grano 240, 400 y 600, como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Lijado y pulido de las probetas.

Además, para que las probetas fueran identificadas durante toda la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio se les asignó la numeración PC01 a la PC12, como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Probetas identificadas con la numeración PC01 a la PC12.

Para iniciar la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio, el horno de secado marca Memmert modelo UP500 se precalentó a una temperatura de 60 °C durante 1 h; después, las 12 probetas se introdujeron en el horno de secado precalentado para que se secaran a una temperatura de 60 ± 2 °C durante 48 h, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Secado inicial de las probetas.

Para garantizar que las 12 probetas estuvieran secas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® a las 46, 47 y 48 h, obteniéndose pesos constantes; de manera que, a las 48 h, se obtuvo el peso seco en cada probeta. Cabe aclarar que, el peso seco inicial se obtuvo a una temperatura ambiente promedio de 22 °C, como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Peso seco inicial de la probeta PC01.

Después del pesado inicial, las probetas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 2 h, como se observa en la Figura 7; esto se realizó, con la finalidad de que las probetas no sufrieran un choque térmico superficial cuando fueran a sumergirse en la solución salina de cloruro de sodio.

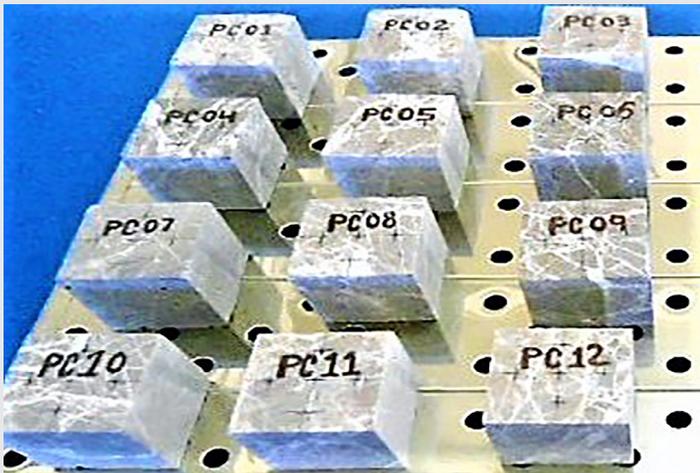


Figura 7. Enfriamiento de las probetas.

Durante el enfriamiento de las probetas, se preparó una solución de cloruro de sodio al 16%, conteniendo 1.6 kg de cloruro de sodio anhidro y 8.4 kg de agua destilada. Una vez transcurrido el tiempo de enfriamiento, las 12 probetas se sumergieron en la solución de cloruro de sodio al 16% a temperatura ambiente durante 48 h para que las probetas se saturaran, como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Probetas en cloruro de sodio al 16%.

Para garantizar que las 12 probetas estuvieran saturadas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® a las 46, 47 y 48 h, obteniéndose pesos constantes; de tal manera que, a las 48 h se obtuvo el peso saturado en cada probeta.

Cabe aclarar que, el peso saturado se obtuvo a una temperatura ambiente promedio de 22 °C, como se observa en la Figura 9.

Posteriormente de obtener el peso saturado, se inició el ciclo de prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio secando las probetas saturadas de cloruro de sodio en un horno de secado marca Memmert modelo

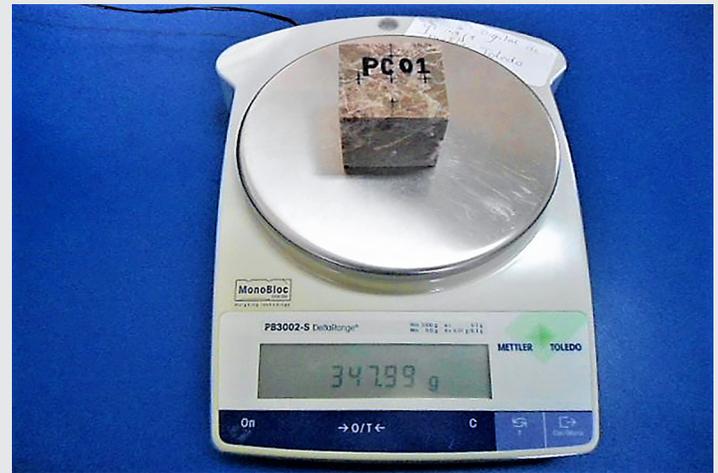


Figura 9. Peso saturado de la probeta PC01.

UP500 a una temperatura de 60 ± 2 °C durante 16 h. A continuación, las probetas se enfriaron a temperatura ambiente promedio de 22 °C durante 2 h, para prevenir un choque térmico. Pasado este tiempo, las probetas se sumergieron en la solución de cloruro de sodio al 16% a temperatura ambiente durante 6 h.

El ciclo de prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio cuyo proceso de secado-enfriado-inmersión duró 24 h, se realizó durante 15 ciclos para concluir la prueba. Cabe mencionar que, después de sacar las probetas del horno, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange®, para obtener el peso de cada probeta en cada ciclo.

Al término del quinceavo ciclo, las 12 probetas de mármol tipo Café Tabaco se lavaron con agua destilada hasta que la sal fuera eliminada por completo; para esto, se vertieron 10 l de agua destilada en un contenedor y se lavaron superficialmente las probetas, como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Lavado superficial de probetas.

Después, las 12 probetas se sumergieron en agua destilada durante 2 h, y se verificó la resistividad del agua destilada para corroborar que las probetas ya no tuvieran cloruro de sodio, como se observa en la Figura 11.



Figura 11. Medición de la resistividad.

Como la resistividad del agua destilada después del lavado no era la misma que antes del lavado, se realizaron cuatro lavados más hasta que la resistividad del agua destilada fuera la misma, antes y después del lavado.

Para finalizar la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio, el horno de secado marca Memmert modelo UP500 se precalentó a una temperatura de 60 °C durante 1 h; después, las 12 probetas se introdujeron en el horno de secado precalentado para que se secan a una temperatura de 60±2 °C durante 48 h, como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Secado final de las probetas.

Para garantizar que las 12 probetas estuvieran secas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® a las 46, 47 y 48 h, obteniéndose pesos constantes; de tal manera que, a las 48 h se obtuvo el peso seco final en cada probeta. Cabe aclarar que, el peso seco final se obtuvo a una temperatura ambiente promedio de 22 °C, como se observa en la Figura 13.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos del peso seco inicial (M_O) de las probetas y de los datos obtenidos del peso seco final (M_F) de las probetas, se obtiene el porcentaje de pér-

da de peso (DWL) de cada probeta individual mediante la Ec. (1):

$$DWL = \frac{M_O - M_F}{M_O} \times 100\% \quad \text{Ec. (1)}$$



Figura 13. Peso seco final de la probeta PC01.

En la Tabla 1, se muestran los resultados del porcentaje de la pérdida de peso de cada probeta después de la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio obtenidos a partir de la Ec. (1).

Tabla 1. Porcentaje de pérdida de peso de las probetas.

Número de Probeta	M_O (g)	M_F (g)	DWL (%)
PC01	346.68	345.74	0.27
PC02	351.63	350.53	0.31
PC03	359.64	358.30	0.37
PC04	336.90	336.27	0.19
PC05	355.12	354.60	0.15
PC06	352.47	350.29	0.62
PC07	350.35	350.12	0.07
PC08	334.06	333.48	0.17
PC09	355.13	352.78	0.67
PC10	353.93	353.21	0.20
PC11	349.37	348.62	0.22
PC12	344.59	343.00	0.46
Mínimo			0.07
Primer Cuartil			0.18
Promedio			0.31
Tercer Cuartil			0.44
Máximo			0.67
Desviación Estándar			0.19

En la Tabla 1, se muestra que el porcentaje de pérdida de peso del mármol tipo Café Tabaco después de la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio es de 0.31% con una desviación estándar de 0.19%. Además, la probeta PC07 fue la que perdió menos peso con un 0.07; mientras que, la probeta PC09 fue la que perdió más peso con un 0.67%.

El diagrama de caja-bigote mostrado en la Figura 14, representa los resultados del porcentaje promedio de pérdida de peso obtenidos de los datos de la Tabla 1.

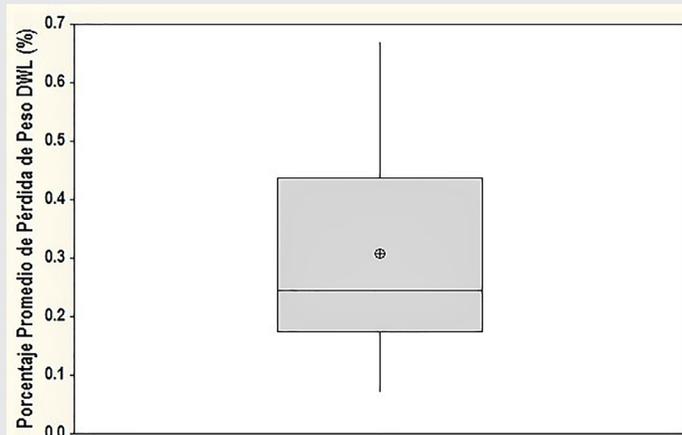


Figura 14. Diagrama de caja-bigote de pérdida de peso.

De la Tabla 2 a la 4, se muestran los valores obtenidos de los pesos secos de cada probeta durante los 15 ciclos de prueba.

Tabla 2. Peso seco de probetas del ciclo 1 al ciclo 5.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (g)				
	1	2	3	4	5
PC01	347.00	346.98	346.94	346.90	346.87
PC02	352.01	352.01	351.95	351.94	351.69
PC03	358.85	358.86	358.84	358.84	358.79
PC04	337.09	337.13	337.09	337.06	337.03
PC05	355.32	355.34	355.29	355.25	355.21
PC06	353.05	353.11	353.07	352.96	352.88
PC07	350.45	350.45	350.44	350.44	350.42
PC08	334.34	334.32	334.29	334.26	334.23
PC09	355.42	355.45	355.42	355.39	355.33
PC10	354.19	354.24	354.19	354.14	354.09
PC11	349.65	349.63	349.60	349.52	349.48
PC12	344.93	344.97	344.92	344.87	344.82
Promedio	349.36	349.37	349.34	349.30	349.24

En Figura 14, la parte baja de la caja es menor que la parte alta; por lo tanto, las pérdidas de peso comprendidas entre el 25% y el 50% de la población, están menos dispersas que entre el 50% y el 75%. Además, el bigote de abajo es más corto que el de arriba; por ello, el 25% de las menores

Tabla 3. Peso seco de probetas del ciclo 6 al ciclo 10.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (g)				
	6	7	8	9	10
PC01	346.59	346.52	346.47	346.44	346.42
PC02	351.61	351.54	351.49	351.43	351.41
PC03	358.76	358.75	358.72	358.69	358.68
PC04	336.99	336.97	336.92	336.89	336.72
PC05	355.19	355.11	355.09	355.05	355.04
PC06	352.76	352.69	352.64	352.58	352.49
PC07	350.42	350.40	350.39	350.35	350.33
PC08	334.20	334.18	334.12	334.08	334.05
PC09	355.32	355.29	355.25	353.46	353.41
PC10	354.08	354.01	353.96	353.89	353.84
PC11	349.44	349.41	349.33	349.30	349.23
PC12	344.80	344.44	344.38	344.34	343.89
Promedio	349.18	349.11	349.06	348.88	348.79

Tabla 4. Peso seco de probetas del ciclo 11 al ciclo 15.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (g)				
	11	12	13	14	15
PC01	346.41	346.31	346.28	346.26	346.23
PC02	351.34	351.24	351.21	351.16	351.13
PC03	358.68	358.64	358.64	358.60	358.59
PC04	336.71	336.66	336.64	336.64	336.63
PC05	355.03	354.98	354.96	354.95	354.95
PC06	352.43	352.33	352.28	352.21	350.99
PC07	350.35	350.30	350.29	350.28	350.28
PC08	334.01	333.99	333.95	333.93	333.89
PC09	353.31	353.22	353.20	353.19	353.18
PC10	353.83	353.77	353.71	353.69	353.68
PC11	349.25	349.15	349.09	349.07	349.03
PC12	343.88	343.83	343.81	343.79	343.77
Promedio	348.77	348.70	348.67	348.65	348.53

pérdidas de peso están más concentrados que el 25% de las mayores.

La Tabla 5, concentra los pesos promedio de los 15 ciclos, dados en las Tablas 2 a la 4, para obtener el porcentaje de pérdida de peso.

Tabla 5. Porcentaje promedio de pérdida de peso.

Tiempo (días)	Peso Promedio de las Probetas (g)	DWL (%)
0 (Inicial)	349.16	0.00
1	349.36	0.06
2	349.37	0.06
3	349.34	0.05
4	349.30	0.04
5	349.24	0.02
6	349.18	0.01
7	349.11	-0.01
8	349.06	-0.03
9	348.88	-0.08
10	348.79	-0.10
11	348.77	-0.11
12	348.70	-0.13
13	348.67	-0.14
14	348.65	-0.15
15	348.53	-0.18
17 (Final)	348.08	-0.31

A partir de los porcentajes promedio de la pérdida de peso en cada ciclo, se obtiene el comportamiento cinético del porcentaje de la pérdida de peso, mostrada en la Figura 15.

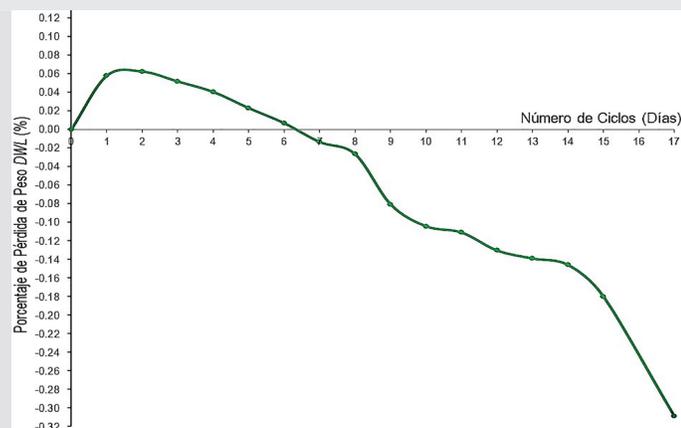


Figura 15. Gráfica del comportamiento cinético.

Como se observa en la Figura 15, en los dos primeros días el mármol tipo Café Tabaco expuesto a la cristalización de sales por cloruro de sodio gana peso debido a que absorbe cloruro de sodio; sin embargo, a partir del tercer día el material empieza a disminuir de peso. Además, en el séptimo día, en material empieza a tener una pérdida de peso, esto debido a que en algunas probetas se empieza a presentar disgregación granular.

Al término de la prueba de cristalización de sales por cloruro de sodio, las principales alteraciones visuales sufridas en el mármol tipo Café Tabaco las cuales fueron: grietas superficiales como la mostrada en la probeta PC05 de la Figura 16, y rupturas como las mostradas en la probeta PC06 de la Figura 17.



Figura 16. Probeta PC05 con grietas superficiales.



Figura 17. Probeta PC06 con ruptura.

De los resultados obtenidos, se puede concluir que el mármol tipo Café Tabaco tiene un porcentaje de pérdida de peso de 0.31% con presencia de alteraciones visuales como agrietamientos y rupturas, y de acuerdo con la clasificación de Benavente [14], este material es de clase I, tiene una pérdida de peso menor del 1%; por lo tanto, este material es resistente a la cristalización de sales por cloruro de sodio, y es recomendable su uso para interiores y exteriores en zonas costeras.

Conviene subrayar que las alteraciones de peso y visuales presentadas afectan su principal cualidad estética que es el brillo; sin embargo, resulta adecuado que se pueda proteger utilizando hidrofugantes o antidegradantes que mitiguen las alteraciones, logrando con esto una mayor durabilidad.

Por otro lado, el presente estudio proporciona indicadores de cómo se comporta este material en condiciones de ambientes salinos, ayudando a los empresarios del sector marmolero de la región a conocer la calidad de su material. De igual forma, aporta en el área de la mecánica de rocas sobre estudios de degradación acelerada.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Orozco, W.; Branch, J.; Jiménez, J. (2014). *Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada*. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (36), 5-9.

[2] Tarbuck, Eduard J.; Lutgens, Frederick K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Editorial Pearson Education, S. A. Octava Edición. Madrid, España. ISBN: 84-205-4400-0.

[3] ASTM International. (2016), *ASTM C119-16 Standard Terminology Relating to Dimension Stone*. ASTM International. USA.

[4] Tlatempa, M.; Estrada, R.; Rubio, E.; Rodríguez, V. (2011). *Caracterización Microestructural del Mármol de la Cantera Café Tabaco, Procedente de Tepexi de Rodríguez, Puebla*. *Acta Microscópica*, 20(1), 60-65.

[5] Pancorbo Floristan, Francisco J. (2010) *Corrosión, Degradación y Envejecimiento de los Materiales Empleados en la Edificación*. Editorial Marcombo S.A. España. ISBN: 978-84-267-1576-0.

[6] Alonso, F.; Esbert, R; Ordaz, J. y Vázquez, P. (2006). *Análisis del Deterioro en los Materiales Pétreos de Edificación*. *RECOPAR*, 3, 23-32.

[7] De Rosario, I. y Feijoo, J. (2016). *Alteración de las Rocas y Otros Materiales de Construcción en los Monumentos*. *Técnicas de Conservación*.

Tecnología e Ciencias Experimentais. Universidad de Vigo. España.

[8] Leal, N.; Simao, J.; Gartmann, C. y Silva, Z. (2011). *Salt-fog experiments on consolidant and water-repellent treated dimension stones*. *International Conference of Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures*, 187-194.

[9] Unal, M.; Gundogdu, N. (2011). *The Effect of Salt Crystallization on Tuff used as Building Material*. *New World Sciences Academy*, 6(1), 41-49.

[10] Benavente, D.; Bernabéu, A. y Cañaveras, J. (2004). *Estudio de Propiedades Físicas de las Rocas*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1), 62-68.

[11] Jamshidi, A.; Reza, M. y Khamechiyan, M. (2013). *Estimating the Durability of Building Stones Against Salt Crystallization: Considering the Physical Properties and Strength Characteristics*. *JGeope* 3(2), 35-48.

[12] Freire, David. (2016). *El Granito como Piedra de Construcción en Madrid: Durabilidad y Puesta en Valor*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, Departamento de Petrología y Geoquímica. Madrid, España.

[13] Alonso, F. (2013). *Durabilidad de Materiales Rocosos*. Universidad de Oviedo. Departamento de Geología (Petrología y Geología). España.

[14]. Benavente García, David. (2002). *Modelización y Estimación de la Durabilidad de Materiales Pétreos Porosos Frente a la Cristalización de Sales*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Alicante, España.



Mecánica
de
Materiales

Ingeniantes

Simulación computacional para la identificación de los factores que ocasionan fractura del resorte helicoidal de cerraduras automotrices sometido a torques a alta velocidad

RESUMEN: Las simulaciones computacionales son una herramienta útil en la industria automotriz, con esta herramienta se puede predecir el comportamiento de sistemas mecánicos sujetos a diferentes condiciones de operación. En este trabajo se estudió la fractura de un resorte helicoidal a torsión instalado en el interior de una cerradura automotriz. Los factores que ocasionan la falla son obtenidos por medio de una encuesta con dos fabricantes de resortes, posteriormente se decide incluir el factor de la velocidad. El objetivo es identificar el nivel de los factores, así como los más significativos que pueden afectar el desempeño del resorte, utilizando un diseño de experimentos factorial completo 25 para poder realizar las diferentes simulaciones utilizando la técnica de elemento finito. La variable de respuesta es el máximo esfuerzo en unidades de Megapascales.

Los resultados en la pata móvil del resorte indican que el espacio radial y espacio axial son factores que tienen un alto impacto en la variable de respuesta, mientras que en la pata fija del resorte únicamente la interacción entre el espacio radial y la velocidad de impacto ocasionan un efecto significativo en la variable de respuesta. Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación nos permitirán diseñar nuevos resortes en cerraduras para la industria automotriz que ofrezcan mayores ahorros económicos y mayores condiciones de seguridad a los usuarios.

PALABRAS CLAVE: Análisis de elemento finito, diseño de experimentos, resortes, simulación, torque.



Colaboración

Martin Gustavo Reyes Chávez; Ana Isela García Acosta, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

ABSTRACT: The computer simulations are a useful tool in the automotive industry, with this tool it is possible to predict the mechanism behavior of different mechanical devices under different operation conditions. In this work the torsion spring fracture inside an automobile latch it is studied. The factors that cause the failure are obtained by a survey made to the spring's manufacturers and then the speed factor is included. The objective is to find the level of the factors, as well as the most significant factors that can affect the spring performance, using a full factorial DOE 25 in order to carry the different simulations using a Finite Element Analysis software. The response variable is the maximum stress in units of MPa.

The factors that affect the response variable in the mobile spring leg are the radial and axial spaces, while in the fixed spring leg only the interaction between the radial space and the impact velocity affect the response variable. The results obtained in this work would help in the design of new springs for automotive locks that offer savings and more security to customers.

KEYWORDS: Finite element analysis, design of experiments, spring, simulation, torque.

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz ha tenido un crecimiento significativo a partir del año 2009 en México, de acuerdo a datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [1] en su reporte "La industria automotriz en México 2014". Este incremento en la industria trasciende en el desarrollo de nuevas tecnologías importantes como en los componentes de seguridad para los usuarios de automóviles. Los componentes desarrollados en la industria automotriz clasifica-

dos como componentes de seguridad son de vital importancia que deben seguir ciertas regulaciones y controles para garantizar la seguridad del conductor y sus pasajeros.

Las cerraduras de los automóviles a su vez, son sometidas a velocidades de impacto del orden de 1 m/s de acuerdo a las especificaciones del cliente en pruebas de validación en actuaciones mecánicas. Se desconoce el comportamiento de estos componentes al ser sometidos directamente a cargas a alta velocidad.

Al considerar un resorte como un elemento en el cual se pueden aplicar las formulas del movimiento armónico simple como “el de un peso unido al extremo inferior de un resorte helicoidal (el extremo superior se encuentra fijo) al cual se le permite vibrar de forma libre”. (Seely, Ensign, 1948) [2], es necesario profundizar más y analizar qué sucede cuando el cuerpo no vibra libremente. Es importante mencionar, que no se puede analizar un resorte que es sometido a esfuerzos utilizando el método mencionado por Seely y colaboradores, al ser sometido a cargas a alta velocidad no vibrará libremente debido a que se encuentra dentro de un mecanismo que delimita su velocidad de desplazamiento y la distancia a la que viaja.

Es necesario realizar una investigación detallada y a fondo sobre el comportamiento de los resortes sometidos a cargas a alta velocidad mediante un diseño de experimentos para identificar los factores involucradas en su falla o fractura (Montgomery, 2013) [3]. El Conocimiento de estos factores nos brindará diversas ventajas como el diseño óptimo del componente y ahorros en costos, así como también la seguridad en estos sistemas mecánicos para el usuario final.

El elegir el diseño correcto de estos resortes podría significar un impacto económico trascendente para las compañías, además de ahorros en tiempos de desarrollo y diseño. En base a estos factores es necesario el estudio de este tipo de resortes sometidos a altas velocidades.

En la actualidad existen varias investigaciones relacionadas con problemas en cerraduras automotrices enfocadas hacia otros tipos de elementos que provocan fallas debido a vibraciones (Villagrana, 2015) [4]; Actuadores basados en trenes de engranes impulsados por un motor de corriente directa en cerraduras automotrices de guantera (Galindo, 2015) [5]; Esfuerzos relacionados con el mecanismo de la cerradura mediante un análisis estadístico donde se formula una ecuación para el esfuerzo de cierre (Chiang & Barber, 2012) [6].

También se han desarrollado modelos metodológicos y procedimientos de diseño secuenciado para la selección de resortes espirales a torsión para diferentes entornos y aplicaciones. El procedimiento de selección se define en ocho pasos: 1) obtención de la curva característica, restricciones de diseño. 2) diseño de la sección resistente. 3) selección del tipo de espiral y variación. 4) selección de

eje y carcasa. 5) determinación del espiral de fabricación. 6) determinación de la longitud del fleje en función de la energía de la curva característica menos las pérdidas. 7) comprobación de interferencias. 8) interacción del tipo de espiral y variación para ajustar la curva específica (Fernández 2011) [7].

Por otra parte, también existen en la literatura propuestas para la elaboración de modelos de resortes helicoidales a torsión mediante la optimización dinámica basados únicamente en la mecánica, en donde se seleccionan cuatro parámetros geométricos como variables de diseño: a) diámetro del alambre, b) diámetro medio de la helicoidal, c) número de bobinas activas y d) el paso del resorte. (Mohamed 2014) [8]. Además, también se ha estudiado la influencia de la carcasa, en donde se encuentra localizado el resorte helicoidal para su desempeño (Muñoz y Col. 2011) [9].

Hipótesis

Se espera en este trabajo que a través del uso de herramientas de simulación computacional y la utilización de diseño de experimentos se logre identificar los factores más significativos que influyen en la fractura de las patas del resorte, así como sus niveles asociados a la fractura y la existencia de una correlación entre los distintos factores.

Objetivo

El objetivo fundamental de este trabajo es identificar a través de la simulación computacional en conjunto con un diseño de experimentos los factores más significativos que ocasionan la fractura en un resorte helicoidal a torsión en una cerradura automotriz, el nivel de valores de estos factores e identificar la existencia de correlaciones entre los distintos factores; el conocimiento de estos factores nos permitirá un mejor diseño del componente y ahorros en costos, así como también lograr una mayor seguridad en estos sistemas mecánicos para el usuario final.

Elemento Finito

Fue desarrollado por ingenieros por la necesidad de solucionar problemas aplicados en resistencia de materiales usando cálculos abstractos (Cooock, 1995) [10]. El principio básico del elemento finito es dividir un cuerpo en varios elementos y sus vértices se conectaran entre sí a los cuales se les denomina nodos. A este proceso se le llama mallado debido a la apariencia que obtienen los cuerpos una vez que se dividen en elementos o triángulos.

El método de elemento finito tiene como base la solución de ecuaciones utilizando matrices para la determinación de los esfuerzos en un área específica. Estas ecuaciones algebraicas lineales simultáneas en forma matricial se simbolizan de la siguiente forma.

$$KD=R \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde K es una matriz cuadrada con constantes conocidas, R es una columna de vectores de constantes conocidas (fuerza aplicada) y D es una columna de vec-

tores desconocidos (deformación del material). La solución de los vectores D puede expresarse como.

$$D=K^{-1}R \quad \text{Ec. (2)}$$

El elemento finito K es la matriz de "rigidez" por lo que es necesario su transformación en una matriz inversa. La obtención del valor de D en la ec. 2 es la parte más complicada del análisis de elemento finito, debido al inmenso número de ecuaciones y la alta dimensionalidad de los sistemas. Por lo cual esta parte del cálculo se realiza comúnmente con la ayuda de diferentes paquetes computacionales (Cook, 1995) [10].

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados en esta investigación están basados en la ejecución del diseño de experimentos y los softwares de análisis y diseño para llevar a cabo las distintas simulaciones de elemento finito.

Los materiales utilizados fueron:

1. **Computadora**, éste elemento se utilizó para poder ejecutar el programa de Minitab 17°, el procesador de palabras, el procesador de hoja de cálculo y el software para las simulaciones de elemento finito.
2. **[11] Minitab 17°**, éste paquete computacional se utilizó para realizar el diseño de experimentos y la captura de los datos.
3. **Procesador de Palabras Microsoft Word**, se utilizó para registrar los avances durante la corrida de las simulaciones y la escritura de este artículo.
4. **Procesador de hoja de cálculo [12] Microsoft Excel**, este elemento se utilizó para registrar los primeros datos de información obtenidos en las diferentes simulaciones.
5. **[13] Abaqus® software**, este paquete computacional se utilizó para realizar las simulaciones de elemento finito con los diferentes niveles en los factores definidos en el diseño de experimentos.
6. **[14] HyperMesh® software**, es un paquete computacional con el cual se realizaron las tareas de creación de las mallas para los modelos 3D.
7. **[15] CATIA® software**, este paquete computacional se utilizó para el desarrollo de los modelos en 3D de los componentes que se analizan en este trabajo.

La metodología para el desarrollo de este trabajo comprende cinco etapas, la primer etapa consiste en definir los factores de estudio que mayormente contribuyen a la falla del resorte tomando en cuenta la experiencia de los ingenieros involucrados en el diseño de este tipo de resortes, la segunda etapa describe el diseño de experimento el cual incluirá los factores de entrada definidos en la etapa uno y la concentración de esfuerzo como la variable de respuesta, en la tercera etapa se simularán los diferentes niveles de los factores de entrada seleccionados en base al diseño de experimentos y se obtendrá la concentración de los esfuerzos como la variable de salida, en la cuarta etapa se analiza cuál de todos los factores que fueron definidos en la etapa uno es la que tiene mayor contribución para que

ocurra la falla en el resorte o al menos la que incrementa de forma significativa la concentración de esfuerzos en la zona crítica del resorte. Las cinco etapas de esta metodología se representan en la Figura 1.

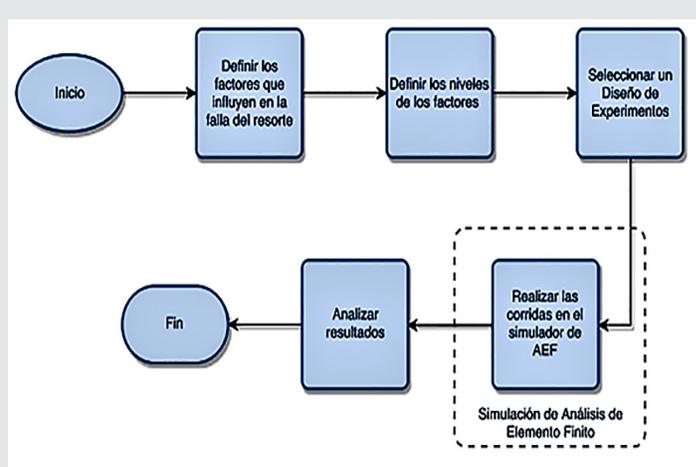


Figura 1. Etapas de la metodología a utilizar en la investigación.

Se utilizaron únicamente dos niveles para cada factor, con la finalidad de poder efectuar un arreglo factorial completo. El resumen de los valores para cada factor se muestra en la Figura 2.

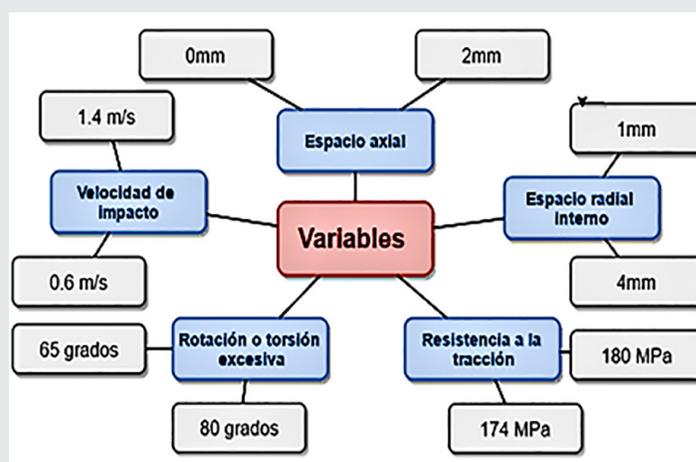


Figura 2. Resumen de factores y valores de los niveles considerados para el diseño de experimentos.

La variable de respuesta es la concentración de esfuerzos que existe en el cuerpo geométrico del resorte para cada combinación de los factores en los dos niveles establecidos. Esta concentración de esfuerzos se representa en unidades de Megapascuales. La zona en donde se va a tomar el nivel de máximo esfuerzo es en la curva de las patas del resorte como se muestra en la Figura 3.

El diseño del experimentos se realizó utilizando la metodología factorial completo 25 y el software de Minitab. Los factores se definieron de acuerdo a los puntos revisados en la literatura y los sugeridos por los dos fabricantes de resortes consultados.

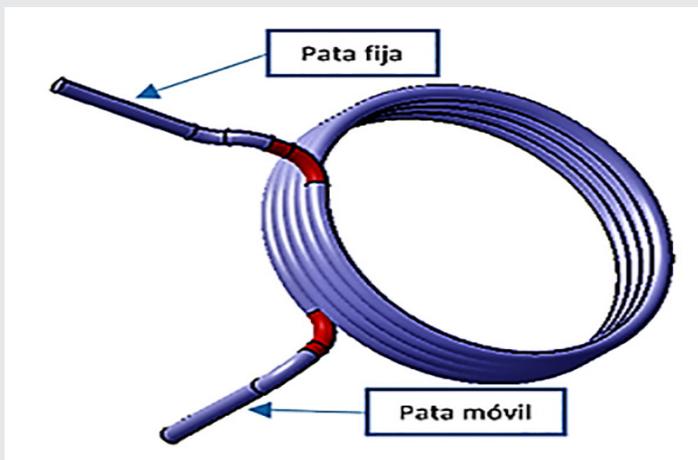


Figura 3. Zonas en donde se va a evaluar la cantidad de esfuerzos en el resorte.

El análisis de elemento finito se realizó utilizando tres tipos de software. El primero es el software CATIA® empleado para la generación de los cambios en los modelos sólidos en 3D. El segundo es un software denominado HyperMesh® el cual nos permite construir la malla de cada componente para la evaluación del esfuerzo en cada uno de los elementos de la geometría, permite definir los parámetros de entrada que se van a utilizar en el sistema y generar una serie de algoritmos para su resolución. El tercero, es el paquete Abaqus® el cual resuelve todas las operaciones necesarias en cada uno de los elementos algorítmicos generados por HyperMesh®, tomando en cuenta todas las variables definidas en el sistema.

RESULTADOS

Se obtuvieron utilizando treinta y dos simulaciones (2⁵). Cada simulación consume un tiempo de procesamiento de cuatro horas y media. En cada simulación se genera un archivo en el que se muestra una escala de Von Mises en la cual el color rojo es el límite de rendimiento del material o "Yield". En la Figura 4 se puede observar el código de colores para el esfuerzo al cual el resorte es sometido en las patas móvil y fija durante la primera simulación.

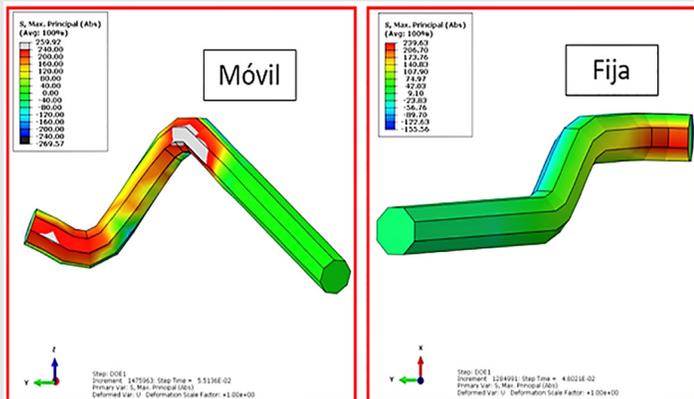


Figura 4. Resultado de la primera simulación en escala Von Mises.

Los resultados obtenidos se introducen en la Tabla de datos del paquete Minitab y se procede a analizar estadísticamente el nivel de efecto que tienen las variables. La matriz de experimentos utilizada en este trabajo de investigación se presenta como Anexo al final del artículo. Los resultados obtenidos de las simulaciones se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de esfuerzo máximo en la pata móvil 1) y pata fija del resorte (2).

Corrida	Esfuerzo 1 (Mpa)	Esfuerzo 2 (Mpa)
1	259.92	239.63
2	247.54	225.12
3	294.03	226.24
4	258.59	266.54
5	258.27	234.89
6	255.59	227.92
7	288.32	226.05
8	257.46	230.24
9	297.51	239.63
10	248.72	225.12
11	299.49	226.24
12	250.17	266.54
13	261.79	234.89
14	245.53	227.92
15	300.33	226.05
16	250.74	230.24
17	248.81	245.57
18	258.39	236.39
19	308.71	236.35
20	255.69	228.02
21	262.91	241.38
22	258.12	241.8
23	300.78	232.19
24	259.87	228.36
25	265.61	245.57
26	257.71	236.39
27	329.71	236.35
28	243.66	228.02
29	267.77	241.38
30	257.57	241.8
31	316.35	232.19
32	251.63	228.36

Los resultados de las simulaciones se analizaron para determinar el efecto de los factores y la interacción que existe entre ellos; por lo cual se dividió en análisis por separado para cada pata del resorte, debido a que los resultados para la pata uno y la pata dos proporcionaron valores distintos de la variable de respuesta.

Resultados pata móvil del resorte

Los resultados de la pata móvil del resorte indican que todos los valores en las simulaciones exceden el límite de rendimiento del material el cual es de 240 Mpa. Lo cual indica que esta pata en específico podría presentar problemas durante la vida útil del resorte.

El análisis de los resultados indicó que los factores de espacio axial y espacio radial son los factores que afectan con mayor impacto a la variable de respuesta. Los resultados son obtenidos con un nivel de confianza de 95%. En la Figura 5 se muestra el resultado del análisis del diseño de experimentos de (2⁵) en Minitab.

Source	P-Value
Model	0.001
Linear	0.000
Espacio Axial mm	0.000
Espacio radial interno mm	0.002
Mpa	0.733
Rotacion	0.439
Velocidad de impacto m/s	0.452
2-Way Interactions	0.938
Espacio Axial mm*Velocidad de impacto m/s	0.890
Espacio radial interno mm*Velocidad de impacto m/s	0.479
Mpa*Velocidad de impacto m/s	0.627
Rotacion*Velocidad de impacto m/s	0.981

Figura 5. Resultados de 2⁵ en pata móvil.

En base a los resultados obtenidos se decidió elaborar un diagrama de Pareto de efectos estandarizados para visualizar de manera gráfica el impacto de cada uno de los factores y su interacción con la velocidad. La Figura 6 muestra estos resultados.

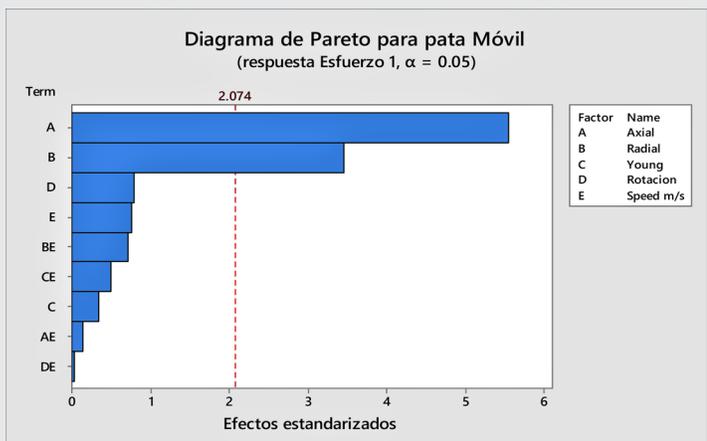


Figura 6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la pata móvil.

Al observar que únicamente dos factores presentan el mayor impacto en el rendimiento de la pata móvil del resorte, se elaboró un gráfico de contorno para estos dos factores el espacio axial del resorte y el espacio radial del resorte como se muestra en la Figura 7.

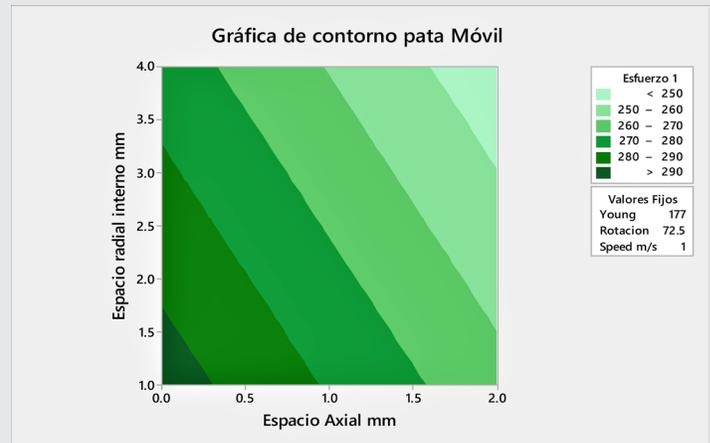


Figura 7. Gráfica de contorno para la pata móvil.

La gráfica de contorno nos permite visualizar que las variables de espacio radial y espacio axial son factores que tienen un alto impacto en la variable de respuesta y se puede inferir que entre más espacio tenga el resorte para expandirse durante su funcionamiento es posible reducir la probabilidad de falla en la pata móvil al producirse un bajo esfuerzo.

Resultados pata fija del resorte

Muestran que no todos los valores de salida en las simulaciones exceden el límite de rendimiento del material el cual es de 240 Mpa. Esto nos indica que esta pata depende de las interacciones con otros factores. El análisis de los resultados muestra que los factores de espacio axial y espacio radial son los factores que afectan con mayor impacto a la variable de respuesta. Los resultados son obtenidos con un nivel de confianza de 95%. En la Figura 8 se muestra el resultado del análisis del diseño de experimentos factorial 2⁵ en Minitab.

Source	P-Value
Model	0.280
Linear	0.721
Espacio Axial mm	0.941
Espacio radial interno mm	0.509
Mpa	0.155
Rotacion	1.000
Velocidad de impacto m/s	0.634
2-Way Interactions	0.095
Espacio Axial mm*Velocidad de impacto m/s	0.129
Espacio radial interno mm*Velocidad de impacto m/s	0.037
Mpa*Velocidad de impacto m/s	0.212

Figura 8. Resultados de 2⁵ en pata fija.

En base a los resultados obtenidos se decidió elaborar un diagrama de Pareto de efectos estandarizados para visualizar de manera gráfica el impacto de cada uno de los factores y su interacción con la velocidad. La Figura 9 muestra estos resultados.

con un nivel de confianza del 95%, estableciendo como hipótesis que ambas muestras son diferentes entre sí. El análisis indicó que las dos poblaciones de resultados de la pata fija y la pata móvil, son de poblaciones distintas como se reporta en la Figura 11.

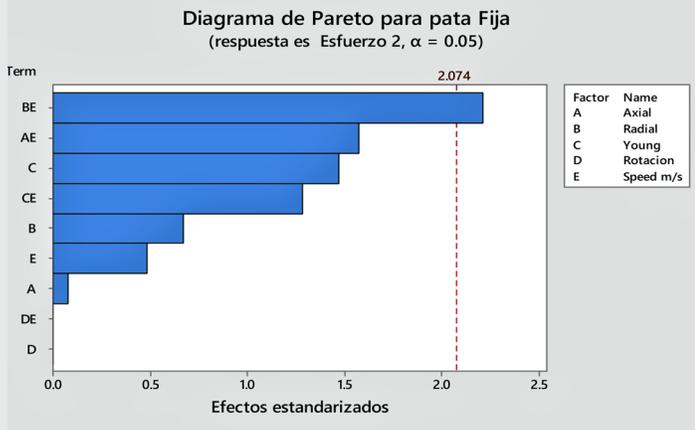


Figura 9. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la pata fija.

Al observar que únicamente la interacción entre dos factores tiene efecto en la variable de respuesta del resorte, se elaboró un gráfico de contorno, considerando como factores a analizar el espacio radial del resorte y la velocidad de impacto del resorte como se muestra en la Figura 10.

Two-Sample T-Test and CI: Esfuerzo 1, Esfuerzo 2

Two-sample T for Esfuerzo 1 vs Esfuerzo 2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Esfuerzo 1	32	269.3	23.5	4.2
Esfuerzo 2	32	235.4	10.3	1.8

Difference = μ (Esfuerzo 1) - μ (Esfuerzo 2)

Estimate for difference: 33.87

95% CI for difference: (24.71, 43.04)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 7.46 P-Value = 0.000 DF = 42

Figura 11. Resultado de la prueba T en las dos muestras.

Este resultado se puede representar de manera más sencilla con un gráfico de caja como se observa en la Figura 12, donde se aprecia la dispersión de cada una de las muestras y la separación entre las medias.

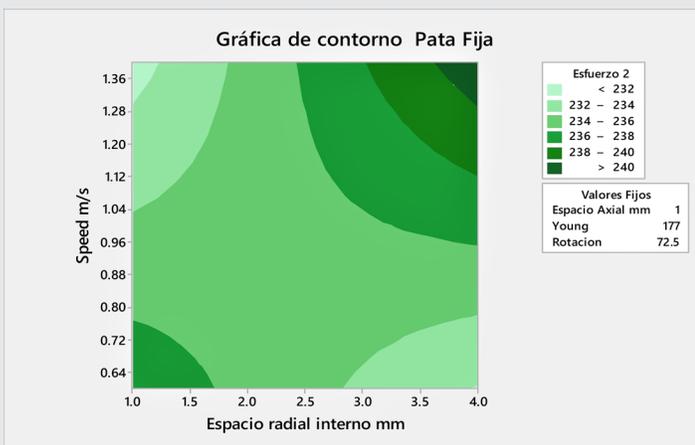


Figura 10. Gráfica de contorno para la pata móvil.

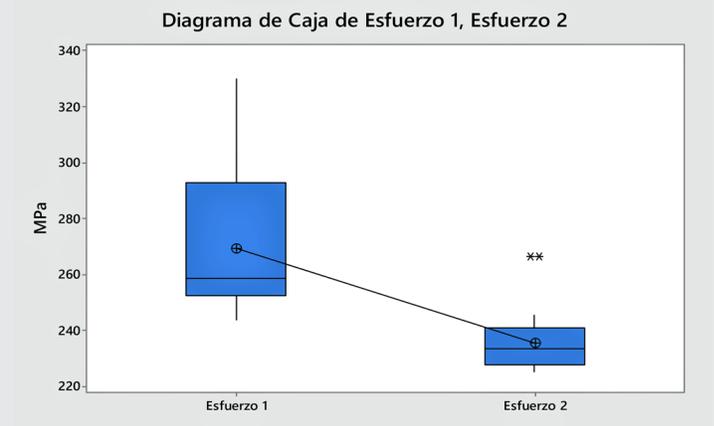


Figura 12. Gráfico de caja para las pata móvil (esfuerzo 1) y pata fija (esfuerzo 2).

El resultado muestra claramente la interacción entre los dos factores, la velocidad y el espacio radial interno que se encuentra entre el poste pivote del resorte y el diámetro interno del resorte. La zona segura para el funcionamiento del resorte podría encontrarse en los niveles medios de cada factor.

Análisis de la prueba T para las dos patas

Para estudiar si las patas se estresan de manera diferente se realizó una prueba estadística T para las dos muestras de pata móvil y pata fija. La prueba se realizó

CONCLUSIONES

Se puede concluir en este trabajo que el resorte helicoidal a torsión es afectado severamente por tres diferentes factores que son: el espacio axial que existe entre el cuerpo del resorte y la carcasa que lo contiene; el espacio radial, que es el que está definido por la distancia que existe entre el pivote de la carcasa hacia el diámetro interno del resorte y por último, la velocidad factor que interactúa con el espacio radial.

Cada una de las dos patas tiene diferentes factores que afectan de manera independiente su desempeño dentro de la cerradura automotriz. Para la pata fija, el espacio radial y el espacio axial son los dos factores que contribuyen a la fractura; mientras que para la pata móvil, el espacio radial y la velocidad son los contribuyentes pero de manera conjunta y no de forma individual.

Las simulaciones en este trabajo generaron sesenta y cuatro datos, los cuales la mitad pertenece al esfuerzo en la pata móvil y la otra mitad al esfuerzo en la pata fija. Estos datos se utilizaron para comparar si ambas patas se desempeñaban de manera similar en las simulaciones empleando una prueba T en las dos muestras. El resultado obtenido indico una separación entre las dos poblaciones demostrando que la pata móvil es mayormente afectada, mientras que la pata fija tiene menor esfuerzo durante las simulaciones. Estos resultados comprueban que ambas patas tienen comportamientos diferentes durante el funcionamiento del resorte.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación coadyuvaran a los ingenieros a diseñar mejores resortes de cerraduras automotrices.

AGRADECIMIENTOS

M.G. Reyes Chávez agradece al CONACyT por la beca otorgada para la realización de estudios de Maestría.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Instituto Nacional de Estadística y geografía (2014). "La Industria automotriz en México 2014". Instituto Nacional de Estadística y Geografía- México: INEGI. Páginas 15, 16.

[2] Fred B. Seely and Newton E. Ensign (1960). "Mecánica analítica para ingenieros" Unión topográfica editorial panamericana. Páginas 347 y 348.

[3] Montgomery D. (2013). "Design and analysis of experiments". Octava edición. John Wiley & Sons Inc. Arizona.

[4] Villagrana, M. N. (2015) "Determinación de los factores y sus niveles que provocan el fallo en una cerradura automotriz debido a vibración". Tesis de Maestría en el Instituto Tecnológico de Cd Juárez.

[5] Galindo, R. A. (2015) "Análisis de los componentes de un actuador basado en un tren de engranajes impulsados por un motor de corriente directa". Tesis de Maestría en el Instituto Tecnológico de Cd Juárez.

[6] Chiang Y. I. & Barber G., (2002), "Operating effort and related statistical tolerance analyses of automotive latching mechanisms". International

Journal of Materials and Product Technology. Páginas 5-6.

[7] Fernández, D. C. (2011) "Modelización generalizada de resortes espirales a torsión. Aplicación en el almacenamiento de energía". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de ingeniería mecánica y fabricación. Páginas 49-51.

[8] Mohamed T., Khalifa O. & Abdessattar A. (2014), "Dynamic optimization design of a cylindrical helical spring. Applied Acoustics (Elsevier) 77, Páginas 178-183.

[9] Muñoz-Guijosa, J. M., Fernández Caballero, D., Rodríguez de la Cruz, V., Muñoz Sanz, J. L., & Echávarri, J. (2012). Generalized spiral torsion spring model. Mechanism & Machine Theory, Volume 51 Páginas 110-130, doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2011.12.007.

[10] Cook, R. D. (1995). Finite element modeling for stress analysis. New York: Wiley.

[11] Minitab17. Copyright 2016 Minitab Inc. All rights Reserved <http://www.minitab.com>.

[12] Excel 2013 Microsoft. <https://products.office.com/en-us/microsoft-office-2013>.

[13] Abaqus 2016° Dassault Systèmes. Francia <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/latest-release/>.

[14] Hypermesh, Altair Engineering, Inc. Estados Unidos de Norte America. <http://www.altair-hyperworks.com>.

[15] CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application). Dassault Systèmes. Francia. <http://www.3ds.com/products-services/catia>.

Anexo

Matriz utilizada en el diseño de experimentos

Std Order	Run Order	CenterPt	Blocks	Axial (mm)	Radial (mm)	Resistencia / tracción Mpa	Rotación Grados	Velocidad m/s	Esfuerzo 1 (Mpa)	Esfuerzo 2 (Mpa)
1	1	1	1	0	4	174	65	0.6	259.92	239.63
2	2	1	1	2	4	174	65	0.6	247.54	225.12
3	3	1	1	0	1	174	65	0.6	294.03	226.24
4	4	1	1	2	1	174	65	0.6	258.59	266.54
5	5	1	1	0	4	180	65	0.6	258.27	234.89
6	6	1	1	2	4	180	65	0.6	255.59	227.92
7	7	1	1	0	1	180	65	0.6	288.32	226.05
8	8	1	1	2	1	180	65	0.6	257.46	230.24
9	9	1	1	0	4	174	80	0.6	297.51	239.63
10	10	1	1	2	4	174	80	0.6	248.72	225.12
11	11	1	1	0	1	174	80	0.6	299.49	226.24
12	12	1	1	2	1	174	80	0.6	250.17	266.54
13	13	1	1	0	4	180	80	0.6	261.79	234.89
14	14	1	1	2	4	180	80	0.6	245.53	227.92
15	15	1	1	0	1	180	80	0.6	300.33	226.05
16	16	1	1	2	1	180	80	0.6	250.74	230.24
17	17	1	1	0	4	174	65	1.4	248.81	245.57
18	18	1	1	2	4	174	65	1.4	258.39	236.39
19	19	1	1	0	1	174	65	1.4	308.71	236.35
20	20	1	1	2	1	174	65	1.4	255.69	228.02
21	21	1	1	0	4	180	65	1.4	262.91	241.38
22	22	1	1	2	4	180	65	1.4	258.12	241.8
23	23	1	1	0	1	180	65	1.4	300.78	232.19
24	24	1	1	2	1	180	65	1.4	259.87	228.36
25	25	1	1	0	4	174	80	1.4	265.61	245.57
26	26	1	1	2	4	174	80	1.4	257.71	236.39
27	27	1	1	0	1	174	80	1.4	329.71	236.35
28	28	1	1	2	1	174	80	1.4	243.66	228.02
29	29	1	1	0	4	180	80	1.4	267.77	241.38
30	30	1	1	2	4	180	80	1.4	257.57	241.8
31	31	1	1	0	1	180	80	1.4	316.35	232.19
32	32	1	1	2	1	180	80	1.4	251.63	228.36



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Implementación de un backend orientado a objetos para clusters de BD heterogéneas y clientes web adaptativos asíncronos en un ERP para la gestión integral de los Institutos Tecnológicos del TecNM

RESUMEN: La planeación, organización y dirección escolar son actividades necesarias en una institución educativa, pero la complejidad para la gestión de ellas se incrementa dependiendo del nivel educativo, aunque en el mercado hay disponible software de diferentes desarrolladores, pero ninguno cubre todas las necesidades actuales, por ello se desarrolla "El Sistema Integral del Tecnológico de Misantla", ERP (Enterprise Resource Planning) para integrar, sistematizar y automatizar los procesos docentes y administrativos primordiales del Tecnológico de Misantla sobre una plataforma web. En su desarrollo se usan los principios de la Programación Orientada a Objetos (POO) con la finalidad de implementar la reutilización de componentes de software en los códigos generadores de la presentación y la transferencia de la información entre los clientes y el servidor. Resultando en un modelo de comunicación con el servidor muy simple, transferencia de códigos y datos reducida al mínimo, una eficiente renderización de los componentes de interfaz, y de forma inherente se ha elevado la seguridad del sistema. Logrando con ello la creación de una herramienta de alto nivel para el área académica y administrativa al alcance de todos los involucrados anexando funciones al sistema de coordinación utilizado hasta este momento en el ITSM e instituciones similares.

PALABRAS CLAVE: BackEnd, Componentes, ECMAScript6, FrontEnd, HTML5, PDO, PHP, POO.



Colaboración

Antonio Aquino Ramos Salvador; Francisco Adolfo Aguilar Gómez; Carmen Juliana Aguilar Fernández; José Aurelio Carrera Melchor; Jorge Mario Figueroa García, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

ABSTRACT: Planning, organization and school management are necessary activities in an educational institution, but the complexity to manage them increases depending on the educational level, although in the market is available software from different developers, none covers all current needs, so develops "The Integral System of the Technological of Misantla", ERP (Enterprise Resource Planning) to integrate, systematize and automate the educational and administrative processes primordial of the Technological of Misantla on a web platform. In its development, the principles of Object Oriented Programming (OOP) are used in order to implement the reuse of software components in the codes that generate the presentation and the transfer of information between the clients and the server. Resulting in a very simple server communication model, minimized data and code transfer, efficient rendering of interface components, and inherently system security has been raised. Achieving with this the creation of a high-level tool for the academic and administrative area within reach of all those involved, attaching functions to the coordination system used up to this moment in the ITSM and similar institutions.

KEYWORDS: BackEnd, Component, ECMAScript6, FrontEnd, HTML5, PDO, PHP, POO.

INTRODUCCIÓN

Desde 2007 existen diferentes implementaciones de sistemas integrales a nivel institucional en México, podemos mencionar instituciones como el Tecnológico de Monterrey, Universidad

Veracruzana y la Universidad Pedagógica Nacional desarrollados en formato web, el Tecnológico de Misantla tiene un sistema implementado con más de 20 años de antigüedad, por ello se está desarrollando el Sistema Integral del Tecnológico Superior de Misantla (SITM) que permite adecuar a las condiciones actuales los sistemas informáticos que hoy intervienen en los procesos administrativos y académicos del Tecnológico de Misantla y por la necesidad de sistematizar aquellos que aún no lo están. Mediante el SITM, se interconectan los diversos departamentos y/o funciones que intervienen en los procesos de gestión y docencia de la institución y se integra software de terceros y a terceras entidades; se dota así de la interconectividad, posibilidades de expansión y eficiencia que los sistemas actuales de la institución no poseen.

El sistema está dividido en dos subsistemas: Un Backend y un FrontEnd. El Backend es un subsistema totalmente autónomo, compuesto por un agente listener extensible y configurable junto con un conjunto de clases que permiten llevar a cabo una representación orientada a objetos de las bases de datos y sus elementos, con la capacidad de interactuar con uno o más clusters de bases de datos heterogéneas [1] que pueden o no estar localizadas en un mismo lugar. El FrontEnd es un subsistema compuesto por un grupo de clientes web asíncronos y adaptativos que extienden una o más clases ECMAScript6 [2] que sirven de plantilla y dotan a sus extensiones de las capacidades necesarias para interactuar con el listener del Backend y generar dinámicamente los elementos que componen la interfaz de usuario. Como resultado se ha obtenido un modelo de comunicación con el servidor muy simple, transferencia de códigos y datos reducida al mínimo, una eficiente renderización de los componentes de interfaz, y de forma inherente se ha elevado la seguridad del sistema.

MATERIAL Y MÉTODOS

Objetivos

- Diseñar un Backend Orientado a Objetos para Cluster de Base de Datos heterogéneas reutilizable para tener acceso a diferentes Bases de Datos autónomas preexistentes y futuras.
- Diseñar un FrontEnd adaptativo y asíncrono basado en componentes, encaminado a la reutilización.

Metodología

Por la propia naturaleza del paradigma de programación empleado en este proyecto se ha estado trabajando bajo el análisis y diseño en espiral [3], esencialmente por la capacidad de adaptación gradual de este enfoque de desarrollo, contrastado con el modelo en cascada se gana en flexibilidad, interacción y un mayor ajuste a las necesidades del cliente que pudieran surgir en el desarrollo del proyecto.

Como patrón de diseño se tomó como referencia el Modelo Vista Controlador [4] para generar uno propio,

que se adecue a las necesidades del proyecto. Se establecieron las siguientes premisas:

- Mediante la reutilización y el uso de la herencia reducir al mínimo los códigos generadores de la interfaz de usuario y también la transferencia de la información entre los clientes y el servidor.
- Un cliente web debe estar basado o extender un componente plantilla adaptativo.
- Los principios de la POO deben prevalecer a lo largo de todo el desarrollo con la finalidad de promover la creación de componentes de software y la reutilización.
- Todas las herramientas de desarrollo han de ser OpenSource en categoría de estables.
- La comunicación entre los clientes y el servidor siempre será asíncrona y solo será posible mediante el listener del módulo Backend, el cual arbitra el acceso al servidor.
- Fases que constituyen el Desarrollo del Sistema.
- Análisis y Diseño del Sistema.
- Desarrollo del Conjunto de Clases que forman una plantilla.
- Desarrollo de los Módulos: Fichas, Cajas, Inscripción, Alumnos, Jefes de Carrera, Docentes y Servicios Escolares.

Diseño del Backend

Dada su magnitud, el Backend, fue enfocado de lo más simple a lo más complejo con la finalidad de poder factorizar el problema. Secuencialmente fueron programadas las siguientes clases:

Campo.php: Constituye el molde para crear la unidad mínima que puede ser representada en un sistema de bases de datos, el campo. Su constructor permite definir el nombre, el tipo de dato e indicar si se trata de un campo clave. Posee también un método con el cual se puede generar una representación JSON [5] de sí mismo.

Registro.php: Encapsula el conjunto de campos que definen un registro de base de datos. Emulando polimorfismo, su constructor permite crear objetos de diferentes maneras para satisfacer las necesidades de construcción que fueron detectadas durante el diseño. Posee también un método para crear un objeto JSON con la descripción del registro y los valores de sus campos. Estos objetos también sirven de contenedores para las consultas o procedimientos almacenados donde el resultado es un valor o un solo registro. Adicionalmente es capaz de generar el código SQL de las consultas SELECT, INSERT, UPDATE y DELETE tomando como base su propia estructura y los valores de sus campos.

Tabla.php: Los productos de esta clase son capaces de almacenar tantos objetos de tipo Registro como sean necesarios para describir la estructura de una Tabla de base de datos, pueden ser empleados para ejecutar

procedimientos almacenados de la base de datos a la cual hayan sido asociados en donde el resultado sea un valor, un registro o un conjunto de registros y son capaces de contener el dataset resultante de una consulta SQL en un array dinámico de objetos de tipo Registro.

BD.php: Esta clase es una extensión de la librería PDO [6] de PHP 7.0 que consigue conectar de forma transparente a diversos gestores de bases de datos. Es capaz de contener un array de objetos Tablas o resultados de consultas que pueden ser cargadas de inicio para poderlas enviar al cliente como un paquete de datos de tipo JSON. Puede ejecutar las operaciones SELECT, INSERT, UPDATE Y DELETE de un registro ó una o más tablas.

Gestión de la concurrencia.

En un gran sistema, como es el caso del SITM, la gestión de la concurrencia a las bases de datos es un factor determinante para su correcto funcionamiento. En el SITM la gestión de la concurrencia se lleva a cabo mediante la técnica o patrón conocida como singleton, la cual nos permite gestionar las conexiones para hacer posible que exista una y solo una conexión por cliente, independientemente del número de solicitudes que éste realice. Las clases descendientes de la clase BD del proyecto quedan habilitadas para implementar un Singleton y así evitar la sobrecarga de conexiones que podría ocasionar una solicitud masiva de peticiones de un cliente. Por defecto, el constructor de la clase conecta con un gestor MySQL y a petición se puede realizar la conexión a otros gestores como son MSSQL, Oracle, PostgreSQL, SQLite, etc., de forma transparente. Las siguientes líneas muestran el singleton creado para conectar con un gestor de base de datos MSSQL ubicado en un segundo servidor. Todos los singleton pertenecen a clases derivadas de la clase BD.php

```
// Singleton para el manejo de la conexión a MSSQL
private static $BD;
public static function BD(){
    if (!isset(self::$BD))
self::$BD = new BD("E00758\SMISANTLA", "gas",
"user", "clave", "MSSQL");
    return self::$BD;
}
```

Gestión del cluster de base de datos heterogéneas y comunicación con los clientes.

Se tomó la decisión de crear un cluster de base de datos y no una mega base de datos para simplificar su gestión, mantenimiento y primordialmente mantener la capacidad de interactuar con otros sistemas sin la necesidad de llevar a cabo una migración de datos o adecuar las consultas a cada gestor, simplemente solicitando la ejecución de procedimientos almacenados alojados en cada instancia, favoreciendo colateralmente un acceso seguro a los datos.

Se programó la clase "Proceso.php" con la finalidad de que sea extendida para crear clases que definan el comportamiento de objetos cuyas funciones serán trabajar como un listener de las peticiones POST que llegan al servidor y árbitro de acceso a las bases de datos. Las extensiones de esta clase, verifican que la solicitud sea una operación reconocida, que la naturaleza de los datos de solicitud sea la esperada y si todo es correcto, es él, y no el cliente, quien accede al cluster para entregar los resultados de la consulta solicitada.

Si la solicitud no es reconocida, el listener asumirá una amenaza de ataque y devolverá un mensaje de error que quizás terminaría ocasionando un mal funcionamiento en el cliente. Cada cliente que se comunique con el server debe hacerlo mediante una petición asíncrona de tipo AJAX [7] y enviar/recibir datos en formato JSON. La interacción del listener con el cluster de bases de datos y los clientes queda representada en la Figura 1.

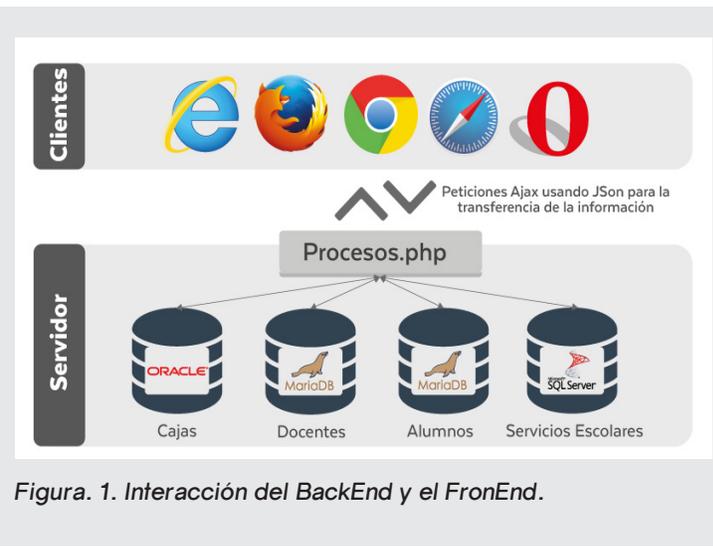


Figura. 1. Interacción del BackEnd y el FronEnd.

Diseño del FrontEnd

Se tomó como punto de partida el patrón de arquitectura: Modelo Vista Controlador y se adaptó un motor de comunicaciones asíncronas propio basado en Ajax. (Véase Anexo 1) muestra el esquema aplicado.

Vista: Los clientes fueron creados bajo los principios de la web adaptativa establecidos por Ethan Marcotte en 2009 [8]. Marcotte indica que existen tres elementos fundamentales para lograr un diseño web adaptativo, que son: cuadrícula fluida, imágenes flexibles y media queries. Gran parte de la solución la proporciona un buen manejo de CSS3 Flexbox y una parte la programación en Javascript para adaptar la interfaz de usuario a las resoluciones de pantalla que tienen los diferentes dispositivos.

Representación de la información orientada a objetos.

Dado el número de veces que se ocupa la terna campo, registro, tabla, se programaron las tres clases si-

güentes con el fin de conseguir un modelo orientado a objetos de la información a representar:

Campo.js: Esta clase se utiliza para crear un campo que es la unidad mínima que contiene el dato JSON que estamos recibiendo, en el constructor se recibe nombre y contenido de dicho campo, estos datos se muestran en la interfaz por medio de un contenedor de tipo span.

Registro.js: Permite la agrupación múltiples objetos de tipo Campo, tantos como sea necesario incluir dentro de un mismo registro, para mostrarlos en la interfaz se utiliza un contenedor de tipo div.

Tabla.js: Con esta clase se define una estructura que puede agrupar uno o más objetos de tipo registro según se requiera, esta agrupación que se hace con la ayuda del contenedor div permite representar la información al usuario final como una tabla.

Un ejemplo de aplicación de este conjunto de clases lo representa la forma en que se gestionó la descripción de las materias y su conjunto, como se muestra en la Figura 2.

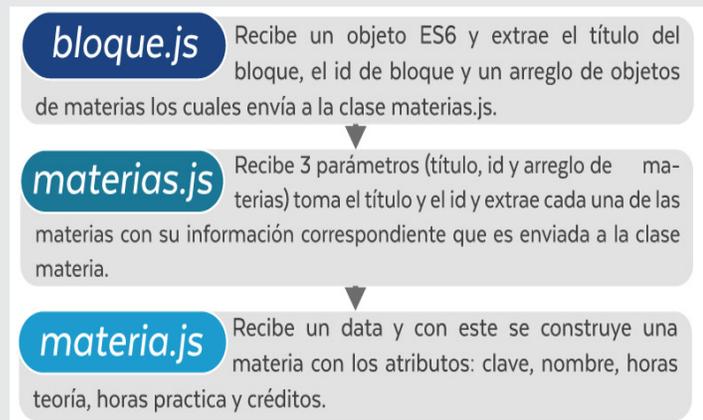


Figura. 2. Representación OO de la información.

Controlador: El control de la vista se lleva a cabo mediante la instanciación de tres clases cuya finalidad es la siguiente:

modulo_ev.js: Es la clase que se encarga de la gestión de los eventos generados por el usuario.

modulo.js: Es una extensión de la clase yTube.js, que lleva a cabo la actualización de la vista y mantiene las callbacks resultantes de las solicitudes Ajax dirigidas al servidor.

yTube.js: Es el componente por el cual, mediante su extensión, sirve de plantilla a la vista manejada por la instancia de la clase modulo.js. Es también la responsable de: designar la estructura y áreas correspondientes para insertar cada componente, definir la estructura de

los componentes principales (Menú lateral, Menú superior y encabezado), definir el comportamiento y las propiedades de cada componente principal, realizar el insertado de cada componente principal al finalizar su creación.

Interfaz de Comunicación:

El segmento de interfaz de comunicación está constituido por la clase denominada ajax.js que crea y envía peticiones asíncronas de métodos AJAX derivados de la librería JQuery consumiendo objetos tipo EcmaScript6 que son convertidos a JSON para ser enviados al servidor, este a su vez devuelve una respuesta en el mismo formato que convierte en objetos EcmaScript6 para ser dirigidos al cliente.

RESULTADOS

El desarrollo de este proyecto es un punto de partida para lograr la completa automatización de los diferentes servicios que al sistema integral le competen, sumado a lograr la unificación de los diferentes departamentos solidificando un formato global para la consolidación de datos del alumno/docente/jefe de carrera.

En el diseño de sus interfaces, el proyecto aplica nuevas tecnologías ya estandarizadas considerando las distintas características de los dispositivos más utilizados, el uso de flexbox en gran medida fue la solución para que la distribución de la página se adapte al tamaño de la pantalla del dispositivo. (Fig. 3).

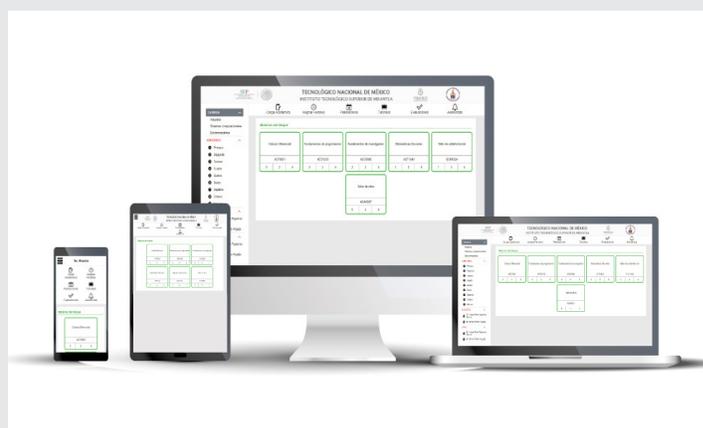


Figura 3. Diseño adaptativo mostrado en diferentes dispositivos de izquierda a derecha Celular con una pantalla de 5", Tablet con Pantalla de 10", Equipo de Escritorio con una pantalla de 19", Laptop con una pantalla de 15".

Mediante la creación dinámica de componentes, se logra eliminar más del 90% de las líneas de código de la interfaz de ellos, obteniéndose una significativa reducción en la tasa de transferencia de este, agilizándose la carga de los diferentes módulos.

La estructura del documento HTML sigue la recomendación de la W3C, que consta de header, aside, nav y section. Como se aprecia en la Figura 4.



Figura 4. Estructura HTML principal.

La plantilla/componente del FrontEnd opera ya satisfactoriamente, se mantiene sujeto a las adecuaciones que requiera el desarrollo en espiral.

Se anexa Imagen UML del caso de estudio del Sistema FrontEnd en el cual se aprecia como el Usuario/cliente interactúa con la plantilla para comunicarse con el servidor (Véase figura Anexo 2).

Los módulos: "Solicitud de Ficha", "Inscripciones" y "Caja" están totalmente terminados, probados y espera de implantación. Se encuentran en desarrollo a un 50% los módulos de; "docentes", "jefes de carrera", "alumnos" y "servicios escolares".

Con respecto al BackEnd, este se encuentra terminado en su totalidad, superando diversas pruebas de funcionamiento y, además, está operando de manera adecuada en otros proyectos.

CONCLUSIONES

El proyecto SITM se encuentra en fase de desarrollo y espera estar concluido, implantado y en producción para el mes de junio de 2018. Su enfoque orientado a componentes permite establecer un sistema de mantenimiento en cascada y hacerlo crecer mediante la integración de nuevos módulos que cumplan las premisas de desarrollo que fueron establecidas. La capacidad de reutilización del módulo BackEnd y los componentes de la plantilla del FrontEnd podrán ser utilizados en futuros desarrollos de software. Al concluir la primera implantación del sistema se procederá a agregar un módulo que integre al SITM la gestión de la biblioteca, tutorías y los exámenes en línea.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Pippal K.S., Kushwaha, D.S. (2013) *A simple, adaptable and efficient heterogeneous multi-tenant database architecture for ad hoc cloud*, *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, pp. 1-14.

[2] Ecma International (2017). *Standard Ecma-262: ECMAScript 2017 Language Specification* [online] Disponible en: <http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/ECMA-262.pdf> [26 de agosto de 2017].

[3] Pressman S. R. (2010). *Ingeniería del Software un enfoque práctico* (pp. 33-43), Madrid: McGrawHill.

[4] Fernández, Y., Díaz Y. (2012). *Patrón Modelo-Vista-Controlador*. *Revista Telemática*, 11(1), 47-57.

[5] Ecma International (2013), *Standard Ecma-404: The JSON Data Interchange Format*. [online] Disponible en: <https://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf> [31 de agosto de 2017]

[6] Popel D., Chittar L. (2007) *Learning PHP Data Objects: A Beginner's Guide to PHP Data Objects, Database Connection Abstraction Library for PHP 5*, PACKT, pp. 6-44.

[7] Woychowsky, E. (2008). *Ajax Creating Web Pages with Asynchronous JavaScript and XML* (pp.20-134), Indiana: Pearson Education.

[8] Marcotte, E. (2011), *Responsive web design* (pp. 52-124). New York: A Book Apart.

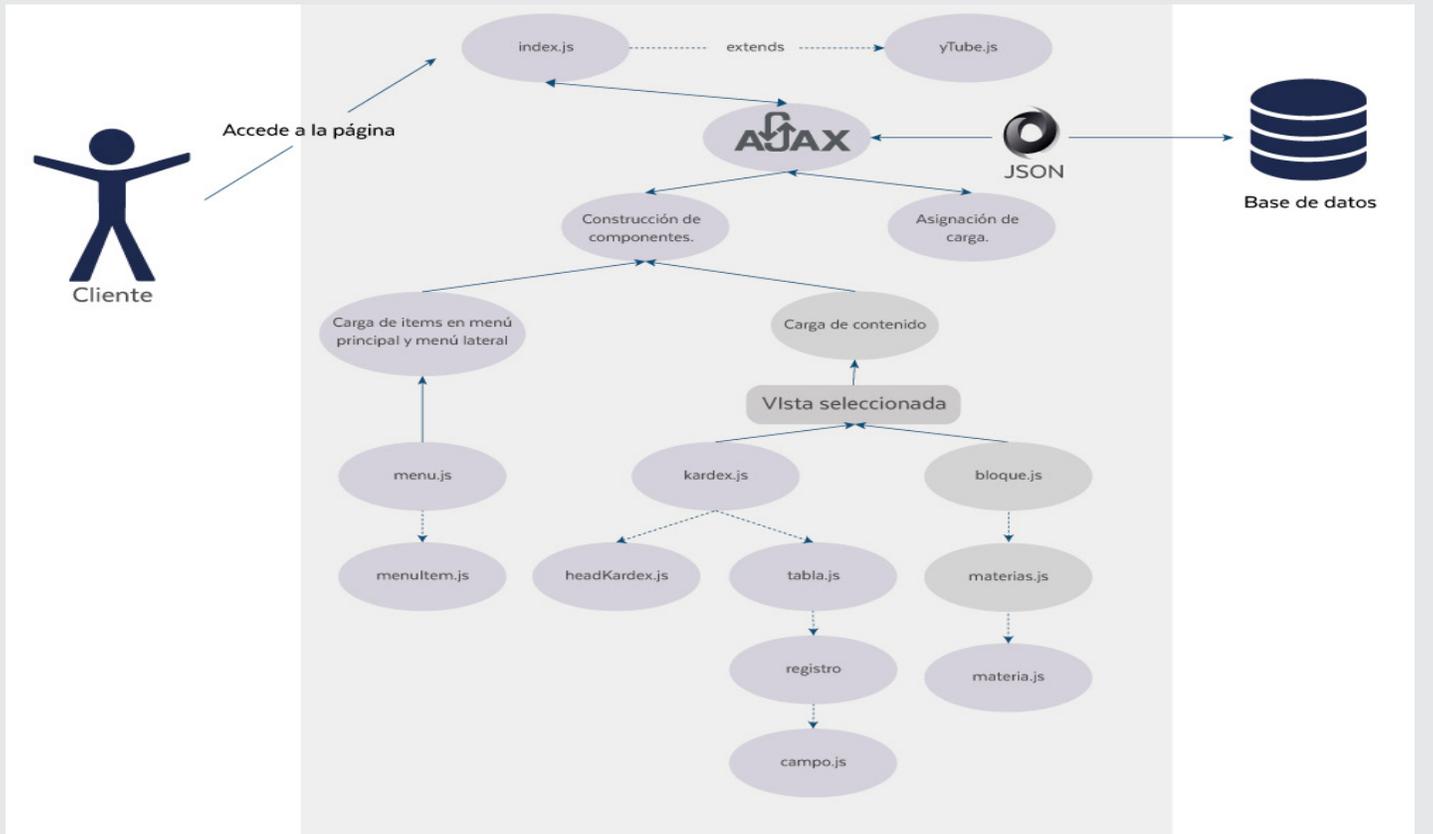
Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Instituto Tecnológico Superior de Misantla por las facilidades otorgadas para la realización del presente proyecto.

Anexo 1. Adaptación del MVC al proyecto.



Anexo 2. Diagrama UML Caso de estudio del sistema.





Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Desarrollo de software lúdico utilizando Metodología de Desarrollo Ágil



Colaboración

Lilia Margarita Mena Castillo; Isaac Neftali Molina Cepeda; Saúl García Andazola; Rolando Ruíz Murillo, Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes

RESUMEN: Las metodologías de desarrollo de software son muy importantes en el ciclo de vida de un sistema, por que se encargan de utilizar diversas herramientas, técnicas, métodos y modelos para el desarrollo del software y cada metodología tiene un enfoque determinado según la naturaleza o enfoque del software.

En el presente artículo se describe la metodología Scrum, la cual fue utilizada en el desarrollo de un sistema de software, en base a las necesidades detectadas durante una estadía académica, en el grupo de formación laboral del Centro de Atención Múltiple. El sistema fue realizado en HTML5, CSS3 y PHP.

PALABRAS CLAVE: Ciclo de Vida, Formación Laboral, Herramientas, Metodología Ágil, Scrum, Software.

ABSTRACT Software development methodologies are very important in the life cycle of a system, since they are responsible for using various tools, techniques, methods and models for software development and each methodology has a specific approach depending on the nature or approach of the software.

This article describes the Scrum methodology, which was used in the development of a software system, based on the needs detected during an academic stay, in the job training group of the Multiple Care Center. The system was made in HTML5, CSS3 and PHP.

KEYWORDS: Cycle of Life, Labor Formation, Tools, Agile Methodology, Scrum, Software.

INTRODUCCIÓN

En el mundo globalizado en el que vivimos, donde la evolución de las herramientas tecnológicas cambia constantemente, el desarrollo de software debe realizarse mediante una metodología de trabajo que permita controlar cada etapa del ciclo de vida del sistema. En los proyectos, donde se utilizaban las metodologías tradicionales los procesos eran muy lineales y esto daba paso a que al final del desarrollo en ocasiones, se entregará lo que el cliente pedía, pero no lo que necesitaba la empresa, y era al final donde se detectaba esa problemática. Por lo que, al aparecer la ingeniería de software ágil representa una alternativa razonable a la ingeniería de software convencional para ciertas clases de software y en algunos tipos de proyectos. Asimismo, se ha demostrado que concluye con rapidez sistemas exitosos. Por este motivo se utilizó la metodología de desarrollo ágil en la realización del software, que se refiere al desarrollo interactivo e incremental. Los equipos ágiles

que mantienen un nivel de revisión por unidades discretas de entrega de trabajo con cada iteración, permiten realizar pruebas de rendimiento y sistemas desde el principio. De este modo, defectos críticos como problemas de integración se descubren antes, la calidad general del producto es mayor y el equipo funciona de manera más productiva durante todo el ciclo de desarrollo. [1]

El ciclo de vida de un proyecto de software consiste en una serie de pasos que se llevan a cabo durante su desarrollo. Esta serie de pasos o fases permiten un mayor control administrativo del proyecto y sus relaciones con el trabajo operacional para establecer qué es lo que se necesita hacer para lograr los productos o entregables del proyecto. Además de administrar las actividades del proyecto. [2] así mismo los equipos que trabajan sobre normas y regulaciones han de validar su trabajo constantemente lo cual representa un doble sentido de trabajo. Las metodologías por iteración simplifican el proceso de entrega versus validación lo cual además permite adoptar cambios sobre la marcha del alcance del proyecto. [3] Por lo anterior se decidió utilizar la metodología Scrum para realizar cada una de las etapas del software en el centro de atención múltiple número 8, de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua. El objetivo del software, como estrategia educativa, es generar en el grupo de formación laboral, una forma más interactiva y dinámica para el proceso de enseñanza en los alumnos con discapacidad intelectual y síndrome de down, por que al utilizar un trabajo lúdico ayudará a retener mejor lo aprendido, que su aprendizaje será más significativo, cuando interactúen con el sistema. Para el centro de atención múltiple es muy importante el acceso a las TIC's, lo cual amplía la posibilidad de relacionarse mejor con la tecnología y la sociedad, además, la SEP esta fomentado en el CAM, el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación. En el presente proyecto se analizaron algunas herramientas útiles para atender discapacidades visuales, auditivas, motrices y cognitivas, haciendo referencia también a la accesibilidad de ellas, la cual consiste en hacer el medio informático y los recursos de internet útiles para todas las personas, tengan o no una discapacidad. [4]

Planteamiento del problema

Durante una estancia profesional de docentes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales que se realizó en el semestre enero - junio de 2016, en el CAM número 8, se detectaron varias áreas de oportunidad en las que el Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes podrían colaborar con los docentes y directivos de esa institución. La directora de CAM, sugirió que se trabajara con el grupo de formación laboral, ya por lo que el docente del grupo informó que los alumnos de ese grado necesitaban interactuar más con herramientas tecnológicas a la medida de sus necesidades, además, de ser un requerimiento del plan de trabajo que marca la SEP, la cual tiene en sus objetivos fortalecer e impulsar el uso de las TIC'S.

El docente del grupo nos comentó que a los alumnos se le dificultaba manejar el dinero, y como los están preparando para trabajar, existe un gran problema, que no distingue adecuadamente el valor de los billetes y las monedas. También al ir de compras no saben si les alcanza el dinero o no. En base a esta necesidad detectada en el trabajo de campo que se realizó durante el semestre, se acordó utilizar la metodología Scrum para el desarrollo del software, por lo cual anteriormente se realizaron algunas aplicaciones de software para esa institución y se utilizaron las metodologías clásicas para el ciclo de vida del sistema, las cuales requerían de mucho tiempo para la elaboración de la documentación del proyecto, y al hacer algunos cambios en el sistema, se debía modificar la documentación, por lo que se incrementaba el tiempo y el trabajo en el desarrollo, por lo que se decidió utilizar ahora la metodología de desarrollo ágil, ya es más viable, para este nuevo proyecto.

MATERIAL Y MÉTODOS

El sistema fue desarrollado con el lenguaje de programación PHP, empleando como manejador de base de datos a MySQL, que son software libre. Este software se enfocó al grupo de formación laboral del CAM número 8, y para realizar las pruebas del sistema, se seleccionó una muestra de 2 alumnos con síndrome de down y 7 alumnos con discapacidad intelectual, durante el semestre enero - junio de 2016, además de la participación del docente, la psicóloga y la trabajadora social del grupo, los cuales constantemente están con el grupo.

La metodología de software que se utilizó para el desarrollo del sistema fue la de Scrum, el cual es un proceso de la metodología ágil que se utiliza para minimizar los riesgos durante la realización de un proyecto, pero de manera colaborativa. Entre las ventajas se encuentran la productividad, calidad y que se realiza un seguimiento diario de los avances del proyecto, logrando que los integrantes estén unidos, comunicados y que el cliente vaya viendo los avances. La profundidad de las tareas que se asignan en Scrum tiende a ser incremental, caso que coincide exactamente con el acontecer normal de un desarrollo. Es perfecto para empresas de desarrollo de software orientadas a varios clientes. Los principios Scrum son congruentes con el manifiesto ágil y se utilizan para guiar actividades de desarrollo dentro de un proceso de análisis que incorpora las siguientes actividades estructurales: requerimientos, análisis, diseño, evolución y entrega. [1]

Dentro de cada actividad estructural, las tareas del trabajo ocurren con un patrón del proceso llamado sprint. El trabajo realizado dentro de un sprint se adapta al problema en cuestión y se define en tiempo real por parte del equipo Scrum. En la Figura 1, se muestra el flujo de trabajo de la metodología. A continuación, se detalla cada una de las fases de esta metodología:

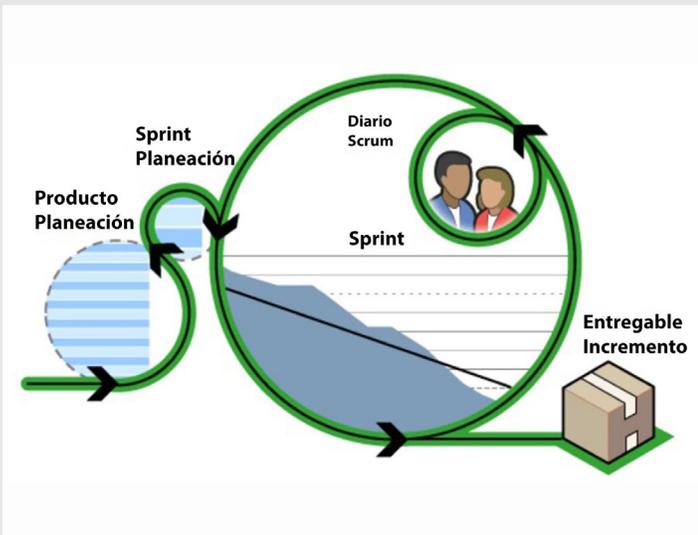


Figura 1. Metodología Scrum. Ciclo de Trabajo Scrum

Ciclo de Trabajo Scrum

1. Requerimientos.

En el salón de clases del grupo de formación laboral se desarrolló una bitácora de actividades de los alumnos y de esta manera dar a conocer las percepciones sobre las necesidades que tiene el grupo y detectar el problema a resolver en conjunto. En esta etapa se desarrollaron encuestas a los alumnos, para conocer a fondo sobre sus inquietudes, colores favoritos y si sabían utilizar una computadora. Después de analizar las respuestas de los alumnos, se realizaron varias entrevistas al docente para conocer algunas problemáticas que se presentaban en el grupo, desde su punto de vista. También se implementó el trabajo de campo para poder observar al grupo. Además de la bitácora se elaboró un expediente de cada joven y se observó cómo trabajan cada uno de ellos, su desempeño académico, social, motriz y su manera de expresarse por diferentes medios (oral, escritura, dibujo, etc.). En la Figura 2, se muestra al grupo trabajando en el salón de clase.



Figura 2. Alumnos del grupo de Formación Laboral.

2. Análisis.

En base a lo detectado en el punto anterior y en coordinación con el docente, la psicóloga y la trabajadora social del grupo, se determinó la problemática y se realizó un análisis de factibilidad técnico, económico y operacional, para ver la viabilidad del proyecto. En base a los resultados positivos del análisis de factibilidad, se realizó una propuesta del proyecto, en cuanto a software y hardware a utilizar, el cual fue satisfactorio, por que el Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes, donó 2 computadoras al CAM, para los alumnos del grupo de formación laboral. Se realizaron los diagramas correspondientes a la propuesta que se le recomendó al docente del grupo y se diseñaron los diagramas de caso de uso y de actividades convenientes al proyecto propuesto.

3. Diseño.

Se realizó la interfaz gráfica del sistema, utilizando los colores, tamaño de letra e imágenes recomendadas por el docente del grupo y los alumnos, utilizando herramienta de diseño. Además, se empezó la codificación del sistema, en el lenguaje de programación de visual basic.net, que es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la construcción de aplicaciones, sistemas, etc., que les permite compartir herramientas y facilita la creación de soluciones en varios lenguajes. Asimismo, dichos lenguajes aprovechan las funciones de .NET Framework, que ofrece acceso a tecnologías clave para simplificar el desarrollo de diversas aplicaciones. [8] Luego se decidió migrar a HTML5, CSS3, PHP por que el entorno es más amigable y la resolución de imágenes es más nítida y este factor es muy importante para los alumnos que van a utilizar el sistema. La migración fue muy sencilla, al estar trabajando con la metodología Scrum, no se tuvo que hacer nueva documentación.

En cuanto al control de la información se utilizó MySQL, por lo que el docente del grupo tendrá acceso a la evaluación de las actividades de cada alumno, como se muestra en la Figura 3, y podrá ver su evolución mediante gráficas personalizadas para cada alumno, con la fecha y la evaluación de cada actividad realizada.

Lista de Alumnos

+ Agregar Alumno

Nombre	Apellido Paterno	Apellido Materno	Edad	Acciones
Angel	Vazquez	Ruiz	21	Calificaciones, Objetos, Editar, Eliminar
Fernando	Vazquez	Ruiz	21	Calificaciones, Objetos, Editar, Eliminar
Lupita	perez	Santos	15	Calificaciones, Objetos, Editar, Eliminar
Joselito	Dominguez	Ruiz	12	Calificaciones, Objetos, Editar, Eliminar

Figura 3. Lista de Calificaciones.

Se realizaron diversas pruebas, primero se validó el sistema y se depuro, después, se continuó con el proceso en las instalaciones de la escuela del CAM número 8, y se realizaron algunas correcciones. A continuación, se muestra en la Figura 4, la realización de pruebas en el grupo de formación laboral. Este proceso fue muy importante, porque se verificó que los jóvenes pudieran utilizar el software, sin ningún problema.

El sistema presentado en el Centro de Atención Múltiple número 8, fue aceptado muy bien por los alumnos del grupo de formación laboral e incluso el sistema se puede utilizar en escuelas primarias desde el nivel básico, el cual es muy interactivo, visual y auditivo. El software es muy amigable en la capacitación todo el grupo trabajó y se divirtió, además se notó cierta empatía de los alumnos con las imágenes que se iban presentando. Por lo que el docente del grupo y la directora del plantel nos informaron que se superaron las expectativas establecidas en el proyecto, cuando los alumnos interactuaban con el software, su participación era muy coherente y desarrollaban más su motricidad, la toma de decisiones y opinaban más.

A continuación, se mostrarán algunas pantallas del sistema. En la Figura 5, se despliega el menú del sistema el cual cuenta con las siguientes opciones: ver videos sobre cómo utilizar el sistema; acomodar los billetes y monedas, en el lugar que les corresponde; y por último iniciar la aplicación, donde el alumno jugará a la tiendita, donde podrá comprar artículos y podrá manipular el dinero que le otorguen.



Figura 4. Capacitación.

4. Evolución y Entrega.

Una vez finalizado un sprint entregan al cliente el resultado del trabajo. Se devuelve al punto 2 hasta terminar la pila de producto [7]. En este caso se realizaron 2 sprint y posteriormente se mostró el software a los docentes y directivos en la escuela y luego se capacitó al profesor y a los alumnos del grupo de formación laboral de uno por uno, para detectar cualquier problemática que se pudiera presentar en la utilización del sistema, además, se entregó un Manual de Usuario digital, para consulta.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto se detectó que los equipos ágiles son más productivos que aquellos que utilizan métodos tradicionales a lo largo de todo el ciclo de vida de un sistema de este tipo, anteriormente, se había realizado otra aplicación para el CAM, utilizando la metodología del modelo espiral, la cual dio buen resultado, pero al utilizar ahora la metodología Scrum, nos ahorró el 50% de tiempo y se utilizaron menos recursos por lo que podemos afirmar que para este tipo de proyectos es más recomendable la utilización de la metodología Scrum. Para llegar a estos resultados se utilizó una Gráfica de Gantt, donde se calendarizaron las actividades detalladas que se realizaron en la elaboración del sistema y las fechas de entrega del sistema anterior utilizando el modelo espiral y se compararon los resultados con la nueva Gráfica de Gantt para este proyecto, por que, al darle seguimiento, se disminuyó en tiempo y recursos.

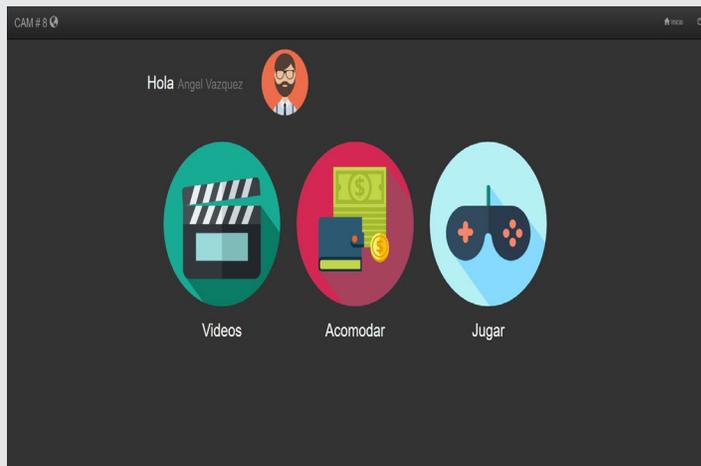


Figura 5. Menú

En la Figura 6, se muestra la pantalla donde se registrarán los alumnos del grupo de formación laboral.

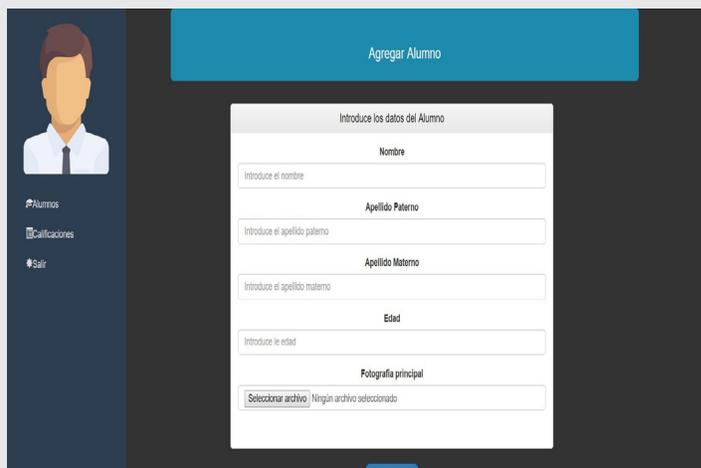


Figura 6. Registro.

En la Figura 7, se muestra la puntuación que obtuvieron los alumnos en las actividades, incluyendo la fecha de la realización.

Nombre	Apellido Paterno	Apellido Materno	Edad	Acciones
Angel	Vazquez	Ruiz	21	Calificaciones \$ Objetos Editar Eliminar
Fernando	Vazquez	Ruiz	21	Calificaciones \$ Objetos Editar Eliminar
Lupita	perez	Santos	15	Calificaciones \$ Objetos Editar Eliminar
Joseito	Dominguez	Ruiz	12	Calificaciones \$ Objetos Editar Eliminar

Figura 7. Puntuaciones.

En la Figura 8, se muestra la pantalla donde el profesor puede agregar, eliminar o cambiar artículos con sus respectivos precios y la puntuación que va a tener el alumno si su actividad es satisfactoria en el momento de jugar.

Objeto	Precio	Puntos	Imagen	Acciones
Balon	\$250	150 pts		Edita Eliminar
Galleta	\$15	10 pts		Edita Eliminar
Refresco	\$13	10 pts		Edita Eliminar
Tablet	\$1200	850 pts		Edita Eliminar
Cuaderno	\$35	25 pts		Edita Eliminar
Manzana	\$8	10 pts		Edita Eliminar
Video Juego	\$450	200 pts		Edita Eliminar
Helado	\$20	15 pts		Edita Eliminar

Figura 8. Insertar Artículos.

Recomendaciones

Se propone dar seguimiento al desempeño académico de los alumnos para comparar la evolución de su aprendizaje con respecto a las actividades realizadas al utilizar el software con actividades académicas donde no se utiliza el software, para conocer estadísticamente la evolución del aprendizaje de los alumnos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Pressman, R. (2010). *Ingeniería de Software. Un enfoque práctico*. 5ta. edición. Editorial: Mc Graw Hill. ISBN: 8448132149.

[2] Project Management Institute. *Instituto internacional para la definición de las mejores prácticas, herramientas, áreas de conocimiento y procesos de la Administración de proyectos*. Obtenida el 19 de junio de 2016 de la página electrónica: www.pmi.org

[3] Sommerville, Ian. (2005). *Ingeniería de Software*. Madrid. 7ma. Edición. España: Pearson. ISBN:84-7829-074-5

[4] Cabero Almenara, J. y Fernández Batanero J. (2007). *Las TIC como elementos en la atención a la diversidad*. Editorial Mad.S.L. Sevilla.

[5] SEP. (2016). *Administración federal de servicios educativos en el DF. Educación especial*. Consultado 15 de noviembre de 2016, en la página: http://www2.sepdf.gob.mx/que_hacemos/especial.jsp

[6] SEP. (2016). *SEP Educación Especial*. Obtenido de la página: http://www.educacionespecial.sep.gob.mx/pdf/tabinicio/2014/manual_tabletas.pdf

[7] Escribano, D. (2009). *Scrum y los clientes*. Obtenido de la página: <https://es.slideshare.net/FlowersInSpace/introduccion-a-scrum-con-caso-prctico-1516220>

[8] Microsoft. *Visual Basic.net*. Consultado el 18 de mayo 2017, en la página: [https://msdn.microsoft.com/es-MX/library/aa291755\(v=vs.71\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-MX/library/aa291755(v=vs.71).aspx)

[9] Barberá, E., Cabero, J., Gros, B., Levis, D., Llorente, M., Llorens, F., Mas, X., Onrubia, J., Peña, I., Ricaurte, P., Suarez, C. (2016). *Pedagogía Red*. Primera Edición. Editorial Octaedros.España. ISBN:978-84-9921-897-7.

[10] Fernández Batanero, J. M. (2013). *Competencias docentes y educación inclusiva*. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 15(2), 82-99.

[11] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Me Graw-Hill.

[12] Meléndez, M., Muñoz, G., García, S., Cruz, R., Hernández, Z. (2017). *La importancia de la adaptación al currículo para una educación inclusiva [versión electrónica]*. *Revista de Sistemas Computacionales y TIC's*. Vol.3 No.7 13-18.

[13] Baez, A., Arellanes, N., Sosa, A. (2016). *Efectividad de la aplicación de metodologías ágiles para el desarrollo de apps móviles. Un caso de estudio [Versión electrónica]*. *Revista de Sistemas Computacionales y TIC's*. Vol.2 No.6 45-66.



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Red Bayesiana para detectar patrones de distribución espacial de la conectividad funcional cerebral con electroencefalografía

RESUMEN: La Conectividad Funcional Cerebral (CFC) es un aspecto neurológico que recientemente se ha relacionado con enfermedades de origen oscuro, como el mal de Parkinson, o la enfermedad de Alzheimer. La detección temprana de patrones anormales de la CFC es por lo tanto un problema crítico en el diagnóstico oportuno de enfermedades neurológicas degenerativas. En este artículo se propone el uso de una Red Bayesiana (RB) lineal con Electroencefalografía (EEG), para modelar la distribución topográfica de la CFC. El reconocimiento de diferencias en la CFC puede ser usada para clasificar patrones normales o anormales. A modo de ejemplo del uso de la RB para clasificar, ésta se utiliza para analizar las señales EEG multicanal que pertenecen a una base de datos en Internet. En este caso, el objetivo de la RB es evaluar gráficamente la existencia de dimorfismo sexual en la distribución espacial de la CFC. Los resultados son que la conectividad de la RB en hombres es mayor en la zona frontal-parietal, y que en mujeres la zona temporal tiene la mayor conectividad de la RB. Esto es consistente con algunos estudios previos sobre dimorfismo sexual en la CFC.

PALABRAS CLAVE: Conectividad cerebral, Red Bayesiana.



Colaboración

María Luisa Córdoba Tlaxcalteco; Alejandro del Rey Torres Rodríguez; Yoselyn Nohemí Ortega Gijón; Carlos Arturo Hernández Gracidas, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

ABSTRACT Functional Brain Connectivity (FBC) is a neurological aspect that has recently been linked to diseases of dark origin, such as Parkinson's disease, or Alzheimer's disease. FBC abnormal pattern's early detection is a critical issue in diagnosis of degenerative neurological diseases. The paper proposes the use of the linear Bayesian Network (BN) model with electroencephalography (EEG), to detect the topographic distribution of FBC. Detection of differences in the BN could be used to classify normal from abnormal neurological behavior. By way of example, the BN is used to analyze multichannel EEG signals belonging to a database on the Internet. In this case, the objective of the BN is to graphically evaluate the existence of sexual dimorphism in the spatial distribution of FBC. The results are that the connectivity of the BN in men is greater in the frontal-parietal area, whereas in women, the temporal zone has the greater connectivity of the BN. This is consistent with some previous studies on sexual dimorphism in FBC.

KEYWORDS: Brain connectivity, Bayesian network.

INTRODUCCIÓN

La Conectividad Funcional Cerebral (CFC) es uno de los aspectos menos conocidos del desarrollo neurológico humano, y se define como la dependencia temporal de patrones de actividad neuronal de regiones anatómica-mente separadas del cerebro [1], [2]. Las Redes Bayesianas (RB) se han utilizado para modelar CFC a partir de imágenes obtenidas por Resonancia Magnética (RM) [3], [4]. En este trabajo, se utiliza un modelo de RB para describir la CFC a partir de señales Electroencefalográficas (EEG) multicanal. La EEG es una técnica no invasiva de registro de las señales eléctricas corticales, que tiene excelente resolución temporal, y pobre

resolución espacial [5]. Por otro lado, la RM es una técnica avanzada de registro de ondas electromagnéticas generadas por el cuerpo humano, frecuentemente reportada con excelente resolución espacial, pero con pobre resolución temporal [6]. Debido a la baja resolución temporal de la RM, existen reportes de que esta no es lo suficientemente rápida para distinguir entre patrones asociados con diferentes estímulos [7]. Sumado a esto, la RM tiene mayor complejidad en el proceso de registro, en comparación con el mismo proceso en EEG [8]. En este trabajo se propone el uso del modelo lineal de RB aplicado a señales EEG, para detectar los patrones de distribución espacial de CFC. Estos patrones pueden utilizar la clasificación de configuraciones normales y anormales de la CFC, lo que permitiría el uso de la RB como herramienta diagnóstica de enfermedades como la de Alzheimer, o la de Parkinson [1], [4].

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de la base de datos.

La base de datos consta de grabaciones de EEG de sujetos pediátricos con convulsiones intratables [9]. Los sujetos fueron monitorizados durante varios días. Las grabaciones están agrupadas en 22 casos (5 varones, edad de 3 a 22 años, y 17 mujeres, edad de 1.5 a 19 años). Cada caso contiene registro de diferencias de potencial eléctrico (en μV), con frecuencia de muestreo de 256 muestras por segundo, y una resolución de 16 bits. Se utilizó el sistema internacional 10-20 de posicionamiento de electrodos, Figura 1. En este caso, el significado de los símbolos es: FP Frontal-parietal, F Frontal, C Central, T Temporal, P Parietal y O Occipital, con numeración par para el lado derecho e impar para el lado izquierdo.

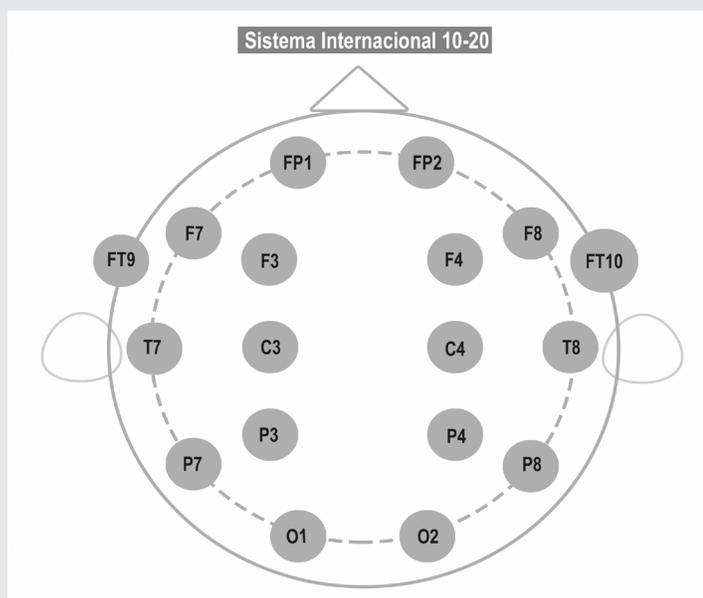


Figura 1. Nomenclatura y posicionamiento del Sistema Internacional para el montaje de electrodos EEG.

Red Bayesiana (RB): Definiciones esenciales.

La RB [10], [11] es una clase de modelos gráficos que permiten una representación concisa de dependencias probabilísticas entre un conjunto dado de variables $X=\{X_1, \dots, X_p\}$, en forma de un grafo acíclico dirigido. Cada nodo corresponde a una variable aleatoria. Si el arco dirigido que va del nodo X_j al nodo X_i pertenece a la RB, se va a escribir $X_j \rightarrow X_i$. Para cada nodo X_i de la RB, Π_{X_i} denota al subconjunto de los "padres" de X_i . Un padre de X_i es cualquier nodo donde empieza un arco dirigido que acaba en X_i (ver Figura 2).

$$\Pi_{X_i} = \{X_j \in X \mid X_j \rightarrow X_i\} \quad \text{Ec. (1)}$$

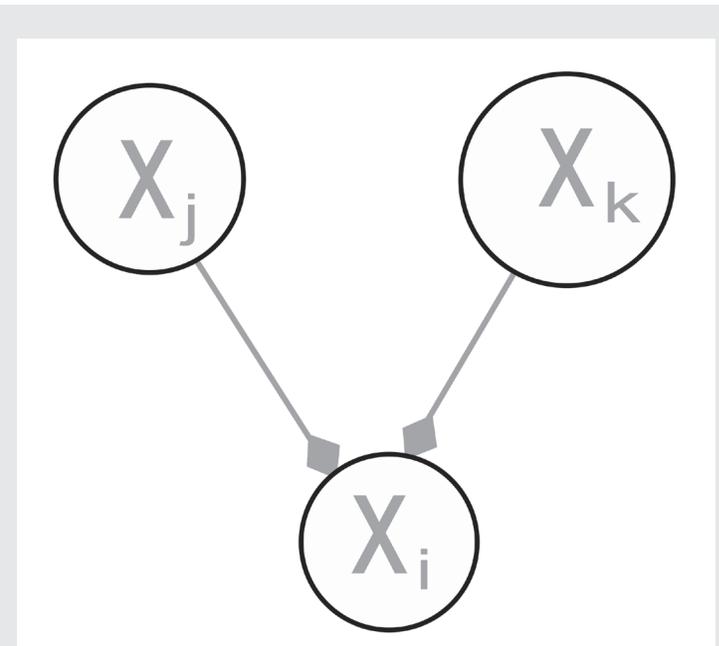


Figura 2. Detalle de la RB, nodo X_i con sus padres X_j y X_k .

Por el teorema de Bayes, la distribución conjunta de $X=\{X_1, \dots, X_p\}$ está determinada por la estructura de dependencia entre cada nodo de la RB, y sus padres:

$$P_X(X) = \prod_{i=1}^p P_{X_i}(X_i | \Pi_{X_i}) \quad \text{Ec. (2)}$$

En este trabajo se supone un modelo de dependencia lineal entre nodos. Por ejemplo, si $\Pi_{X_i} = \{X_j, X_k\}$, la distribución de X_i , dados los padres Π_{X_i} (ver Figura 5), se define por:

$$X_i = \beta_0 + \beta_1 X_j + \beta_2 X_k + \text{error} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde β_0 es el intercepto, y β_1 y β_2 son los parámetros que miden la influencia de X_j y X_k sobre X_i , respectivamente. El término *error* denota una variable aleatoria con distribución gaussiana. El cálculo de estimaciones sobre los parámetros de la RB se llama *Aprendizaje* de la RB [12]. Para este fin, en el presente trabajo se utiliza el Algoritmo de Causalidad inductiva, implementado en R a través del paquete *bnlearn* [13].

Metodología de ajuste de la RB para los canales EEG

Para cada uno de los 18 canales EEG se filtra la señal a la banda Alfa (8 - 13 Hz), por medio de la FFT (*Fast Fourier Transform*). Dada la señal Alfa Z , se calcula la matriz de covarianza $M = \frac{1}{n-1} Z Z^t$ (Z^t es el traspuesto del vector Z , y n es su longitud). Se realiza el Análisis de Componentes Principales (ACP), [12] sobre la matriz M , obteniendo $\{\lambda_i\}$ el conjunto de valores propios de la matriz de covarianza M , ordenados de mayor a menor. Para el canal i , la variable continua X_i es la transformación logito de la fracción f_r de variación explicada por el primer valor principal λ_1 , [14]:

$$0 \leq f_r = \frac{\lambda_i}{\sum \lambda_j} \leq 1 \tag{Ec. (4)}$$

$$X_i = \log\left(\frac{f_r}{1 - f_r}\right) \tag{Ec. (5)}$$

La metodología para formar la RB con el montaje es como sigue. Cada canal representa la diferencia de potencial entre dos electrodos adyacentes. Por ejemplo, el canal "FP1-F7" representa la diferencia de potencial entre el electrodo FP1 y el electrodo F7. El siguiente canal en el montaje, "F7-C3", representa la diferencia de potencial entre F7 y C3, y así sucesivamente. Se realiza una identificación entre los nodos de la RB, y los canales del montaje: Cada canal es un nodo de la RB. Se elige a los nodos O2P4 y O1P3, como los nodos sin padre, conectando el resto a partir de ellos. Así, se obtiene una gráfica acíclica dirigida, comenzando de la zona Occipital, hacia la zona Frontal-Parietal del cerebro, ver Figura 3. El modelado de la RB para la CFC tiene dos propósitos. En primer lugar, realizar un modelo gráfico sobre el conjunto de interrelaciones entre canales de EEG. En segundo lugar, hacer estimaciones cuantitativas de estas relaciones.

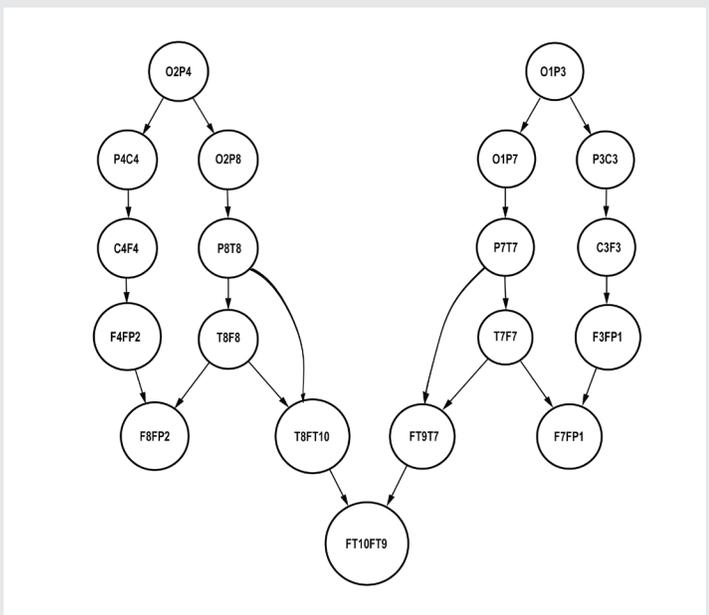


Figura 3. Representación de la RB para los canales EEG.

RESULTADOS

La señal Alfa Z es el primer segmento de 10 pacientes de la base de datos, agrupados por sexo (4 hombres, 6 mujeres). El ajuste de la RB permite un análisis en dos niveles: Por nodo, y por electrodo. El número de parámetros asociado a cada nodo es igual al número de padres, más uno. Por ejemplo, de acuerdo al aprendizaje de la RB, el promedio de las estimaciones del parámetro del canal O2P4 en mujeres es: $\beta_{0_1} = -1.545524$, y la estimación de los dos parámetros del nodo O2P8 son: $\beta_{0_2} = -0.3646064$ y $\beta_{1_2} = 0.8004201$. Así, el electrodo O2, que pertenece a los canales O2P4 y O2P8 (ver Figura 4), tiene asociado un vector de tres parámetros: $(\beta_{0_1}, \beta_{0_2}, \beta_{1_2})$. Cada electrodo tiene asociado un vector de parámetros, los valores se muestran en Tabla 1 y Tabla 2 para mujeres y hombres, respectivamente.

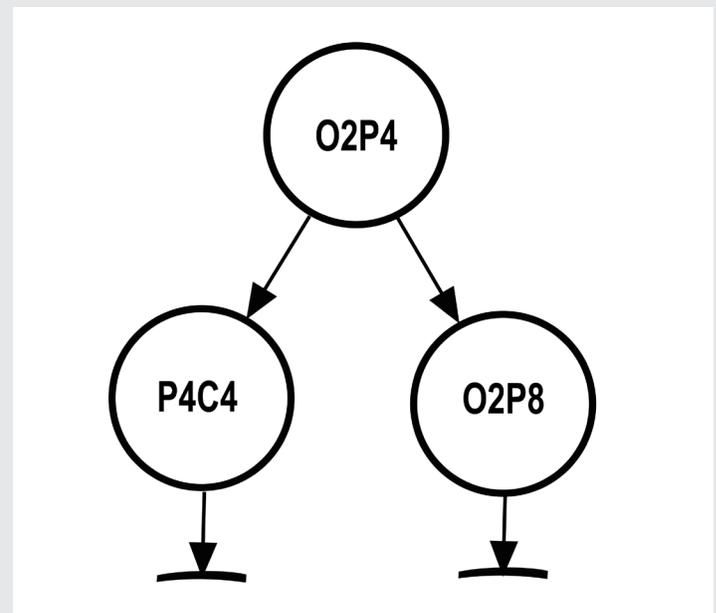


Figura 4. Nodos que contienen al electrodo O2.

Tabla 1. Estimación de parámetros por electrodo. Los valores mostrados son los promedios en mujeres.

Nombre de Electrodo	Valores de los parámetros							Cantidad de Parámetros para cada electrodo relacionado	Total de parámetros
O2	-1.545524	-0.3646064	0.8004201					1-P4, 2-P8	3
P8	-0.3646064	0.8004201	-1.8490778	0.2727283				2-O2, 2-T8	4
T8	-1.8490778	0.2727283	-1.7806259	-0.156378	-1.0913317	0.1579236	0.1642997	2-P8, 2-F8, 3-FT10	7
F8	-1.7806259	-0.1563778	-0.1797144	-0.101057	0.9038933			2-T8, 3-FP2	5
FP2	-0.1797144	-0.1010569	0.9038933	-0.495808	0.5234886			3-F8, 2-F4	5
F4	-0.4958079	0.5234886	-0.2896678	0.7159577				2-FP2, 2-C4	4
C4	-0.2896678	0.7159577	-1.1218245	0.3662611				2-F4, 2-P4	4
P4	-1.1218245	0.3662611	-1.545524					2-C4, 1-O2	3
FT10	1.8617867	0.8154116	1.0144766	-1.0913317	0.1579236	0.1642997		3-FT9, 3-T8	6
FT9	1.8617867	0.8154116	1.0144766	-0.9046043	0.3173733	0.2037045		3-FT10, 3-T7	6
T7	-0.9046043	0.3173733	0.2037045	-1.460662	-0.0929561	-0.661064	0.5414725	3-FT9, 2-F7, 2-P7	7
F7	-1.4606617	-0.0929561	0.3835818	0.8794747	0.3809385			2-T7, 3-FP1	5
FP1	0.3835818	0.8794747	0.3809385	-0.584814	0.3492586			3-F7, 2-F3	5
F3	-0.584814	0.3492586	0	1				2-FP1, 2-C3	4
C3	0	1	-0.8262752	0.3931163				2-F3, 2-P3	4
P3	-0.8262752	0.3931163	-1.610259					2-C3, 1-O1	3
O1	-1.610259	-0.3350853	0.7438999					1-P3, 2-P7	3
P7	-0.3350853	0.7438999	-0.3350853	0.7438999				2-O1, 2-T7	4

Tabla 2. Estimación de parámetros por electrodo. Los valores mostrados son los promedios en hombres.

Nombre de Electrodo	Valores de los parámetros							Cantidad de Parámetros para cada electrodo relacionado	Total de parámetros
O2	-1.836514	-0.7586742	0.476731					1-P4, 2-P8	3
P8	-0.7586742	0.476731	-1.2296796	0.4670229				2-O2, 2-T8	4
T8	-1.2296796	0.4670229	-2.2069441	-0.3626458	1.291239	0.9741108	0.740076	2-P8, 2-F8, 3-FT10	7
F8	-2.2069441	-0.362645	-0.6607071	1.2612423	-0.897128			2-T8, 3-FP2	5
FP2	-0.6607071	1.2612423	-0.8971285	-2.0541134	-0.0762440			3-F8, 2-F4	5
F4	-2.05411343	-0.0762440	-0.7663354	0.585723				2-FP2, 2-C4	4
C4	-0.7663354	0.585723	-0.2155215	0.675037				2-F4, 2-P4	4
P4	-0.2155215	0.675037	-1.836514					2-F4, 1-O2	3
FT10	-5.339506	-1.593113	-1.0225	1.291239	0.9741108	0.7400765		3-FT9, 3-T8	6
FT9	-5.339506	-1.593113	-1.0225	1.495936	1.042615	1.060395		3-FT10, 3-T7	6
T7	1.495936	1.042615	1.060395	-3.463626	-1.392201	-0.7780314	0.494321	3-FT9, 2-F7, 2-P7	7
F7	-3.463626	-1.392201	-0.5842509	-1.0129253	1.4702392			2-T7, 3-FP1	5
FP1	-0.5842509	-1.0129253	1.4702392	7.618243	5.641667			3-F7, 2-F3	5
F3	7.618243	5.641667	0	1				2-FP1, 2-C3	4
C3	0	1	-1.4634215	0.1056306				2-F3, 2-P3	4
P3	-1.4634215	0.1056306	-1.420521					2-C3, 1-O1	3
O1	-1.420521	-0.2692659	0.7272095					1-P3, 2-P7	3
P7	-0.2692659	0.7272095	-0.7780314	0.4943215				2-O1, 2-T7	4

La estimación de diferencia (dif) en los valores de los parámetros de cada electrodo, entre sexos, se realiza por distancia euclidiana:

$$dif = \sqrt{(u_1 - v_1)^2 + (u_2 - v_2)^2 + \dots + (u_n - v_n)^2} \quad \text{Ec. (6)}$$

En donde u y v son dos vectores de n parámetros correspondientes al mismo electrodo con u se refiere a mujeres, y v se refiere a hombres. En la Figura 5 se muestra la gráfica de las diferencias entre los hombres y las mujeres, en tono rojo para las diferencias más grandes que corresponde a las zonas Frontal y Frontal-parietal (F y FP), hasta el tono amarillo claro con menor diferencia correspondiente a las zonas Occipital y Parietal (O y P).

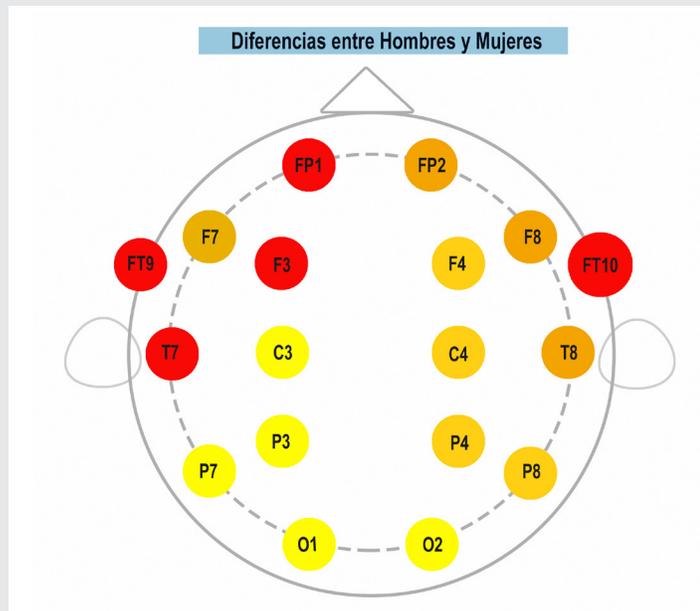


Figura 5. Diferencias por electrodo entre Hombres y Mujeres. Los Hombres muestran mayor conectividad que las mujeres, en la zona Frontal y Parietal.

Tabla 3. Rango de colores para hombres.

Min	Max	color
3.5211	10.0501	rojo
2.0491	3.5211	amarillo
0.7496	2.0491	verde claro
0.2015	0.7496	verde muy claro

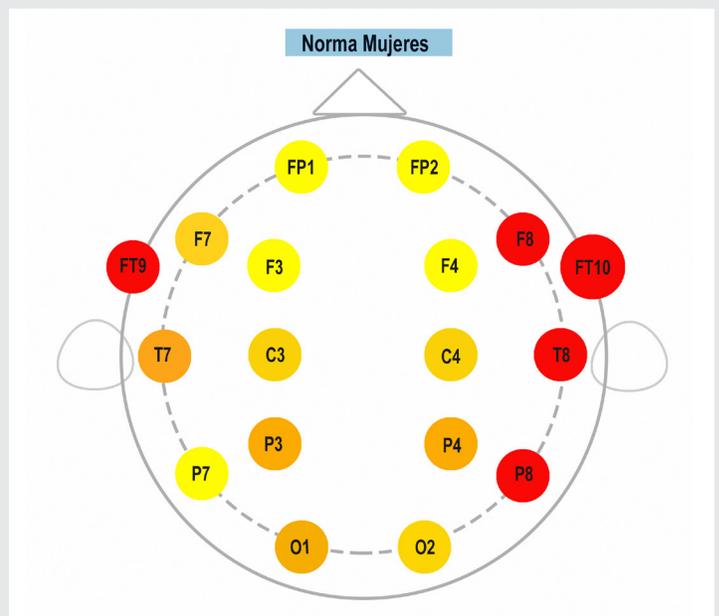


Figura 6. Clasificación de intensidad de conectividad en mujeres. Los mayores valores corresponden al lóbulo Temporal derecho.

Tabla 4. Rango de colores para mujeres.

Min	Max	color
2	2.8163	rojo
1.798	2	amarillo
1.266	1.798	verde claro
1.057	1.266	verde muy claro

También se muestran las gráficas para los grupos de pacientes, clasificando la norma de los vectores de cada uno de los electrodos. Para el grupo de las mujeres en la Figura. 6, para el grupo de los hombres en la Figura. 7.

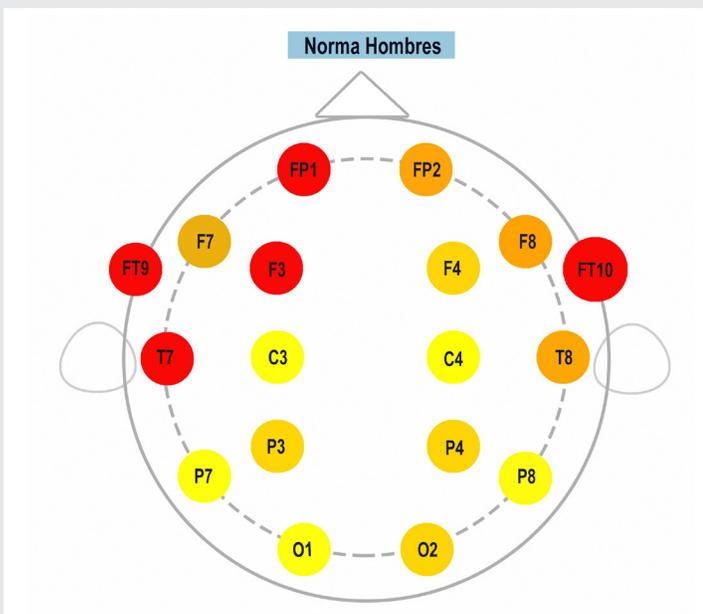


Figura 7. Clasificación de intensidad de conectividad en hombres. Los mayores valores corresponden al lóbulo Frontal.

Tabla 5. Rango de colores para hombres.

Min	Max	color
4.334	9.664	rojo
2.464	4.334	naranja
1.824	2.464	amarillo
1.197	1.824	verde claro

Hay evidencia notable de dimorfismo sexual. En la gráfica para el grupo de los hombres, la norma se encuentra entre el intervalo: (1.197,4.334). En hombres, los valores más grandes se encuentran en las zonas Frontal, y Temporal. Las zonas con menor norma en Hombres son: la Occipital, Central y Parietal. En mujeres, la norma se encuentra entre el siguiente intervalo: (1.057,2), con menor diferencia entre los valores máximo y mínimo, en comparación con hombres. Los mayores valores de la norma se encuentra, en mujeres, en las zonas Frontal, Temporal, Parietal y Occipital. Estas conclusiones son consistentes con las observaciones en [15], y [16].

El modelo presentado detecta diferencias de acuerdo al sexo. Esto permite postular razonablemente, que también puede detectar diferencias entre personas con CFC normal y anormal, lo cual deberá ser corroborado por investigaciones futuras. Por último, como una línea de investigación futura, se encuentra la validación de esta técnica mediante mapeos cerebrales [16].

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Dennis, E. L., & Thompson, P. M. (2014). Functional brain connectivity using fMRI in aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychology review*, 24(1), 49-62.

[2]. He, Y., & Evans, A. (2010). Graph theoretical modeling of brain connectivity. *Current opinion in neurology*, 23(4), 341-350.

[3]. Boersma, M., Smit, D. J., Boomsma, D. I., De Geus, E. J., Delemarre-van de Waal, H. A., & Stam, C. J. (2013). Growing trees in child brains: graph theoretical analysis of electroencephalography-derived minimum spanning tree in 5- and 7-year-old children reflects brain maturation. *Brain connectivity*, 3(1), 50-60.

[4]. Wu, X., Li, R., Fleisher, A. S., Reiman, E. M., Guan, X., Zhang, Y. & Yao, L. (2011). Altered default mode network connectivity in Alzheimer's disease—a resting functional MRI and Bayesian network study. *Human brain mapping*, 32(11), 1868-1881.

[5]. Srinivasan, R. (1999). Methods to improve the spatial resolution of EEG. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 1(1), 102-111.

[6]. Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2004). *Functional magnetic resonance imaging (Vol. 1)*. Sunderland: Sinauer Associates.

[7]. Wheless, J. W., Willmore, L. J., Breier, J. I., Katakami, M., Smith, J. R., King, D. W. & Baumgartner, J. (1999). A comparison of magnetoencephalography, MRI, and VEEG in patients evaluated for epilepsy surgery. *Epilepsia*, 40(7), 931-941.

[8]. Gotman, J., Kobayashi, E., Bagshaw, A. P., Bénar, C. G., & Dubeau, F. (2006).

[9]. Combining EEG and fMRI: a multimodal tool for epilepsy research. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 23(6), 906-920.

[10]. A team of investigators from Children's Hospital Boston (CHB) and the Massachusetts Institute of Technology (MIT) created and contributed this database to PhysioNet. The clinical investigators from CHB include Jack Connolly, REEGT; Herman Edwards, REEGT; Blaise Bourgeois, MD; and S. Ted Treves, MD. The investigators from MIT include Ali Shoeb, PhD and Professor John Guttag.

[11]. Iyer, S. P., Shafran, I., Grayson, D., Gates, K., Nigg, J. T., & Fair, D. A. (2013). Inferring functional connectivity in MRI using Bayesian network structure learning with a modified PC algorithm. *Neuroimage*, 75, 165-175.

[12]. Li, R., Chen, K., Fleisher, A. S., Reiman, E. M., Yao, L., & Wu, X. (2011). Large-scale directional connections among multi resting-state neural networks in human brain: a functional MRI and Bayesian network modeling study. *Neuroimage*, 56(3), 1035-1042.

[13]. Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. springer.

[14]. Neapolitan, R. E. (2004). *Learning bayesian networks* (Vol. 38). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

[15]. Sprott, D. A. (2008). *Statistical inference in science*. Springer Science & Business Media.

[16]. Goldstein, J. M., Seidman, L. J., Horton, N. J., Makris, N., Kennedy, D. N., Caviness Jr, V. S. & Tsuang, M. T. (2001). Normal sexual dimorphism of the adult human brain assessed by in vivo magnetic resonance imaging. *Cerebral cortex*, 11(6), 490-497.

[17]. Sacher, J., Neumann, J., Okon-Singer, H., Gotowiec, S., & Villringer, A. (2013). Sexual dimorphism in the human brain: evidence from neuroimaging. *Magnetic resonance imaging*, 31(3), 366-375.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Aplicación interactiva de astronomía con robot NAO, de apoyo a educación preescolar



Colaboración

Miguel Flores Zárate; Víctor César Olguín Zárate; Lorena Santos Espinosa; Axel Munguía Zaragoza, Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan

RESUMEN: La decisión de desarrollar una aplicación interactiva, fue para apoyar a instituciones de educación preescolar en la enseñanza de las ciencias básicas, debido a que es importante que los niños de estas instituciones aprendan los temas como la disciplina de astronomía de manera interactiva; es decir, que los niños participen en las actividades haciendo uso de la tecnología motivados mediante un dispositivo como un robot humanoide NAO, este cuenta con una extensa gama de movimientos, detección de objetos, comunicación en diferentes lenguajes, que por lo tanto atraer la atención de la población en estudio. Utilizar la robótica educativa implica el diseño, evaluación e implementación del comportamiento de un robot (behavior). Siendo un robot un mecanismo controlado por un ordenador, programado para moverse, manipular objetos, hacer diferentes y determinados trabajos por medio de la interacción con su entorno.

PALABRAS CLAVE: Aplicación interactiva, robótica educativa, behavior, robot humanoide NAO.

ABSTRACT: The decision to develop an interactive application was to support preschool education institutions in basic science education because it is important for children in these institutions to learn subjects such as the astronomy discipline in an interactive way; that is to say, that the children participate in the activities making use of the technology motivated by means of a device like humanoid robot NAO, since this one counts on an ample range of movements, detection of objects, communication in different languages, that therefore to attract the attention of the population under study. Using robotics education involves the design, evaluation and implementation of behavior of a robot (behavior). Being a robot a mechanism controlled by a computer, programmed to move, manipulate objects, do different and certain jobs by means of interaction with its environment. .

KEYWORDS: Interactive application, educational robotics, behavior, humanoid robot NAO.

INTRODUCCIÓN

La educación inicial (educación y atención de la primera infancia) desempeñan un papel importante en el desarrollo cognitivo de los niños y en el rendimiento escolar subsecuente. Durante la última década, México ha logrado matricular en la educación inicial a niños de 4 años.

En el 2005, el 69% de los niños de 4 años estaban matriculados en la educación preescolar (CINE 02), 7 puntos porcentuales por debajo de la media de la OCDE. Sin embargo, para el 2015 la tasa de matrícula de México para este grupo de edad fue de 89%, por encima del promedio de la OCDE de 87%, así como otros países latinoamericanos como Argentina (81%), Brasil (79%), Colombia (81%) y Costa Rica (59%).

México obtuvo el sexto mayor incremento en las tasas de matriculación de niños de 4 años entre los países de la OCDE, después de Australia, Chile, Corea, Polonia y Turquía, y el doble del promedio de la OCDE en este período[1].

En México, el Programa de Educación Preescolar (PEP, 2004) incorpora la enseñanza de la ciencia con un enfoque centrado en competencias, donde el objetivo primordial es que los niños desarrollen capacidades y actitudes que caracterizan al pensamiento reflexivo, mediante experiencias que les permitan aprender más sobre el mundo natural y social.

Por otro lado, la educación superior, debe brindar los elementos y herramientas necesarios para que los nuevos educadores o aún en procesos de formación, logren adquirir los conocimientos para el aprovechamiento efectivo y eficiente de los recursos tecnológicos disponibles en el centro educativo, así como también, ofrecer la preparación necesaria para ser promotores de un aprendizaje integral, donde se fomente el estudio científico, tecnológico y la innovación [2].

La robótica educativa se posiciona como un elemento nuevo y necesario de conocer por las nuevas generaciones. Abarca temas multidisciplinarios como: la electrónica, la informática, la mecánica y la física, entre otros.

Sin embargo, el uso de robots educativos como parte de la investigación logró impactar a la comunidad implicada formada por estudiantes de nivel preescolar, transformando su práctica educativa, pues se identificaron rutas de acción que permitieron a los docentes e investigadores, abordar actividades que involucraron la tecnología de manera fundamentada, permitiendo diseñar y abordar actividades lúdicas con robots educativos que promovieron el aprendizaje significativo a partir del análisis del contexto y de los saberes emergidos de la praxis educativa, soportada en los referentes conceptuales [3].

Es cierto que desde los programas curriculares se han hecho importantes esfuerzos, pero estos se quedan en los cambios curriculares y, en algunos casos, en los libros de texto, y no han llegado a cambiar la percepción de la mayoría de los docentes sobre esa visión del aprendizaje de la ciencia como algo marginal en el proceso educativo. Por lo cual, la enseñanza de estas ciencias se pueden apoyar en la interacción humano-robot, mediante comportamientos cargados al robot llamados behaviors, como una forma de despertar el interés desde los niveles iniciales de la educación.

Por lo tanto, el objetivo se centra en desarrollar una aplicación interactiva de apoyo a estudio de las ciencias naturales en la disciplina de astronomía, mediante la interacción con el robot humanoide NAO.

El Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan adquirió 3 dispositivos Nao, es un robot humanoide autónomo, programable y de mediana estatura. Fue creado por la compañía Francesa Aldebarán Robotics. Es posible manipular al robot Nao de forma física o virtual. Para la forma física existen las plataformas de desarrollo de Choregraphe y Nao's SDK, mientras que para la forma virtual existen numerosas aplicaciones.

La robótica es un campo emergente con aplicaciones en muchas facetas de nuestra vida diaria. Es importante para todos los miembros de la sociedad entender la tecnología y todo lo que ello conlleva. Pero, la robótica y la inteligencia artificial son importantes por mucho más que ello, que proporcionan una combinación única de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas.

La interacción entre humanos y computadoras (Human Computer Interaction – HCI) es una disciplina que involucra el diseño, evaluación e implementación de sistemas de cómputo interactivos para el uso humano así como los fenómenos alrededor de estos [HEW 1992]. En la misma lógica, la interacción entre humanos y robots (Human Robot Interaction – HRI) estudia la forma en que la gente se comunica con los robots y como hacer dicha comunicación eficiente [4].

Un robot Nao humanoide actúa como ser humano. Esto es, si es capaz de realizar tareas normalmente efectuadas en un ambiente típico de humanos. Esta definición se basa en la funcionalidad más no en la apariencia y/o estructura del robot. Cuenta con un par de bocinas que le permiten reproducir sonido o voz y con un par de micrófonos por lo que se puede trabajar en aspectos relacionados con el reconocimiento de sonidos y voz o utilizar las librerías ya precargadas para estos fines. El robot cuenta además con dos cámaras que le permiten percibir su ambiente, así como trabajar en algoritmos de visión computacional y servo-visión.

NAO es capaz de comunicarse con otros robots u otros dispositivos mediante Wi-Fi, Ethernet o Bluetooth [5]. Su versión más completa cuenta con 25 grados de libertad que le permiten tener una gran capacidad y rango de movimiento. El Robot Humanoide NAO puede caminar de forma omnidireccional, es decir, no solamente puede caminar hacia adelante y hacia atrás, sino que también es posible conducir al robot a cualquier punto y dirección que se desee. Cuenta con una gran variedad de sensores entre los que destacan una unidad inercial y 8 sensores resistivos de presión que permiten tener retroalimentación del sistema de caminado y por consiguiente modelar diferentes tipos algoritmos de control [6]

Una acción se refiere al hecho de ordenar al robot la ejecución de algún comportamiento predefinido, por ejemplo, caminar, girar, detenerse, etc. [7].

Un behavior es un conjunto de instrucciones que se pueden enviar o instalar en el robot.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trata de un trabajo investigativo cualitativo, por lo cual se lleva a cabo la investigación-acción en el aula, el cual fue propuesto por Lewin Kurt [8], y se busca la mejora en la obtención de conocimientos respecto a la práctica educativa.

El proyecto se desarrolló en fases sucesivas desde la planeación de los contenidos hasta la aplicación en instituciones de nivel preescolar y básico.

Fase 1: Se analizaron los contenidos de las asignaturas de ciencias para conocer los temas de astronomía que deben conocer los niños de educación preescolar considerando los planes de estudio de las instituciones muestra de la región, así como el entorno en que se desenvuelven, para analizar el nivel de aprendizaje que tiene con el sistema tradicional, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.- Análisis de contenidos en nivel preescolar.

ASIGNATURA	TEMA	DESCRIPCION	ACTIVIDAD	HORAS ASIGNADAS
CIENCIAS NATURALES	EL SISTEMA SOLAR	DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA SOLAR (LOS PLANETAS).	REALIZAR UNA MAQUETA REPRESENTATIVA DEL SISTEMA SOLAR.	5 HORAS CLASE
	LA TIERRA	DESCRIBEN LOS MOVIMIENTOS DE LA TIERRA.	REALIZAR UNA MAQUETA REPRESENTATIVA DE LOS MOVIMIENTOS.	3 HORAS CLASE

Cabe mencionar que se decidió como primera fase considerar 3 temas principales, el sol y el sistema solar, los planetas y los cometas.

Fase 2: Se observaron y analizaron videos de métodos de interacción de enseñanza-aprendizaje con niños en diferentes disciplinas, para seleccionar la forma en que se lograría obtener la mejor interacción de un niño de preescolar con el robot como se muestra en la Tabla 2; por lo tanto, se planteó trabajar con material didáctico que comúnmente usan las educadoras en este nivel académico, como son bolas de unicel pintadas de diferente color para simular los planetas, cada una de estos por la parte frontal tendría una Nao Mark, que identificaría el robot en cada planeta, como se muestra en la Figura 1. Además de simplificar palabras técnicas de los temas por palabras de uso común para los niños y lo pudieran comprender.

Tabla 2.- Videos observados y analizados para identificar la forma de interacción.

ANÁLISIS DE CONTENIDOS DE VIDEOS INFANTILES

NOMBRE DEL VIDEO	TIPO	TIEMPO DE VIDEO	TIEMPO DE ANÁLISIS
EL SISTEMA SOLAR	DOCUMENTAL	23:52 MINUTOS	5 HORAS
EL SISTEMA SOLAR PARA NIÑOS CON BARNEY	EDUCATIVO INFANTIL	7:29 MINUTOS	45 MINUTOS
LOS PLANETAS	ENCICLOPEDIA AMERICANA	24:23 MINUTOS	4 HORAS
ZAMBA EXCURSION AL OBSERVATORIO LOS COMETAS	DOCUMENTAL	4:01 MINUTOS	40 MINUTOS



Figura 1. Nao Mark y sus correspondiente representación del planeta.

Fase 3: Se desarrollaron los behaviors de cada tema para el robot NAO mediante el software Choregraphe, primero una presentación de la aplicación, posteriormente se crearon los bloques (caja) del comportamiento, la secuencia de las entradas y salidas de los bloques, para llevar la secuencia lógica adecuada entre cada bloque, como se muestra en la Figura 2, así como algunas modificaciones se realizaron haciendo uso de lenguaje de programación Python para algunos movimientos más específicos. Se crearon las líneas de tiempo para grabar los comportamientos y sincronizar los movimientos con los diálogos, así como la activación por medio de los sensores en las manos y comandos de voz, su empaquetado y la carga del behavior en el NAO [9].

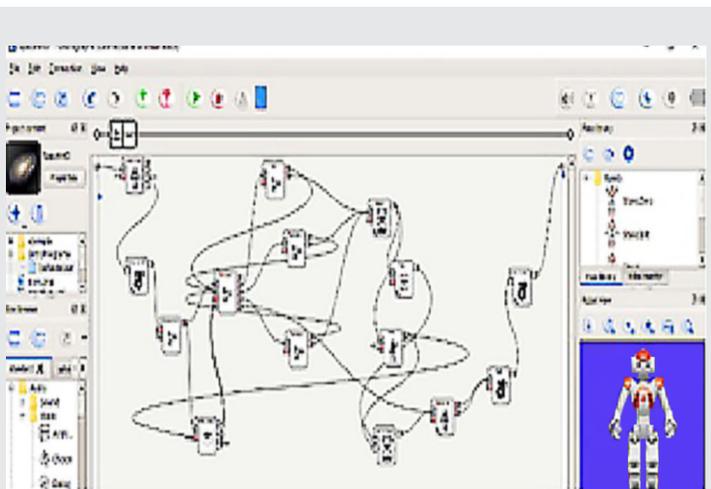


Figura 2. Programación en Choregraphe con Robot Virtual.

Fase 4: Posteriormente, se solicitó a la educadora que explicara alguno de los temas seleccionados, después se le pidió evaluara el conocimiento aprendido por los alumnos. A otro grupo se le enseñó el mismo tema

utilizando la aplicación de Astronomía con NAO, se le pidió a la educadora que evaluará de la misma forma que a los alumno que aprendieron de forma tradicional verificando en todos los casos un incremento en el aprendizaje de los niños con los behaviors de NAO, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Educadora evaluando el aprendizaje.

Fase 5. La investigación se realizó en diferentes instituciones de nivel preescolar. De tal forma, fundamentado en el resultado obtenido se realizó una recodificación de los behaviors; está vez se le dio una orientación para educación primaria; estos cambios se realizaron porque se tomó la suposición de que por la edad de los niños se lograría una mayor comprensión de los conceptos de astronomía con niños de nivel primaria.

De tal modo, se aplicó nuevamente la Fase 4 en grupos de nivel primaria obteniendo un incremento más significativo que con los niños de preescolar, como se muestra en la Figura 4. Además, se pudo observar también mayor interés en los profesores de primaria.



Figura 4. Presentación nivel primaria.

RESULTADOS

La aplicación se presentó en la ciudad de Aguascalientes en el Concurso Nacional de Robótica e Inteligencia Artificial NAO 2015, obteniendo el primer lugar en la categoría de exhibición Aplicación Nao, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Presentación Concurso NAO.

Posteriormente fue aplicada a instituciones de nivel preescolar del Centro de Atención Infantil Comunitaria (CAIC), del cual se seleccionó una muestra de 58 niños de nivel preescolar de dos diferentes instituciones. De la misma manera se realizó la selección de una muestra de 87 niños de cuarto grado de nivel primaria, de cuatro grupos diferentes, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Instituciones Muestra.

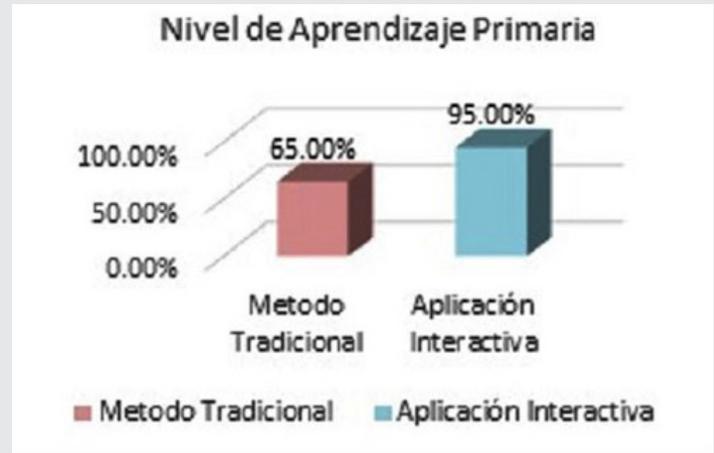
NIVEL ESCOLAR	NOMBRE DE LA INSTITUCION	NUMERO DE GRUPOS	NUMERO DE ALUMNOS
PREESCOLAR	CAIC (Centro)	1	30
PREESCOLAR	CAIC (Norte)	1	28
PRIMARIA	PRIMARIA PORFIRIO O. MORALES	4	87

El comparativo de nivel de aprendizaje de nivel Preescolar, muestra un incremento en la comprensión de los niños, del 60% del método tradicional, al 75% mediante la aplicación interactiva Nao, cabe mencionar que el incremento es correspondiente a las edades de los niños, como se muestra en la Figura 6 y la gráfica 1.

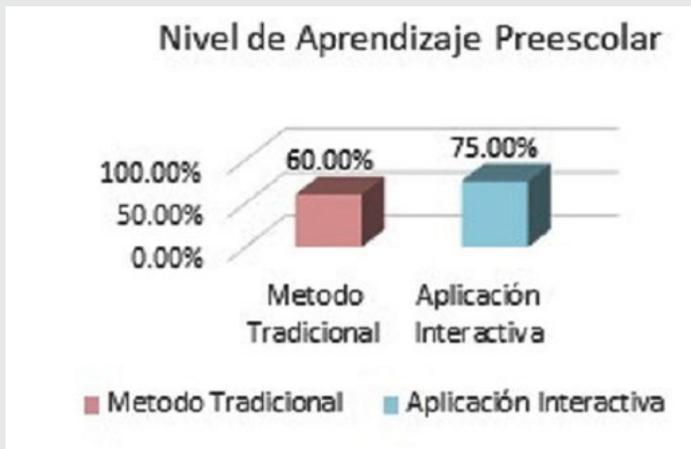
Mientras el comparativo de nivel de aprendizaje de nivel Primaria, muestra un incremento en la comprensión de los niños, del 65% del método tradicional al 90% mediante la aplicación con aplicación interactiva Nao, motivado principalmente porque comprenden mejor los conceptos que muestra la aplicación con el robot NAO, como se muestra en la Figura 7 y la Gráfica 2.



Figura 6. Presentación de Nivel Preescolar.



Grafica 2.- Comparativa de compresión de Nivel Primaria.



Grafica 1.- Comparativa de compresión Nivel Preescolar.



Figura 7. Presentación de Nivel Preescolar.

Finalmente, se continúa presentando la aplicación a diferentes sectores de la población, con la finalidad de depurar o incrementar mayor funcionalidad a la aplicación.

CONCLUSIONES

Con la evolución de las tecnologías, y aprovechando que los niños tratan de interactuar más con su entorno y el interés que despiertan los dispositivos como el Robot Humanoide Nao, vemos que se pueden dirigir los métodos de la educación tradicional, reforzados con instrumentos más visuales, auditivos y motrices que nos ofrecen.

Se observa el avance que se obtiene de la disciplina de Astronomía, apoyándose de las nuevas tecnologías y dispositivos como el Robot Nao; que se debe buscar mejorar los métodos e instrumentos de enseñanza-aprendizaje de los niveles educativos en el país.

Es importante visualizar que, de la misma forma que se desarrolló esta aplicación interactiva para los niños, aplicarla a otras áreas o disciplinas del conocimiento humano, y ver los beneficios que se obtienen en nuestros estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Estudios Económicos de la OCDE. www.oecd.org/eco/surveys/economic-survey-mexico.htm
- [2] Jiménez, M., & Cerdas, R. (2014). *La robótica educativa como agente promotor del estudio por la ciencia y la tecnología en la región atlántica de Costa Rica.* (págs. 1-18). Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- [3] Barrera Lombana, N. (2015). *Uso de la robótica educativa como estrategia didáctica en el aula.* *Praxis & Saber*, 215-234.

[4] Ramos López, C. F. (2009). *Sistema de Interacción Humano - Robot basado en voz para el entrenamiento de comportamientos*. Ciudad de México, México: Instituto Tecnológico Autónomo de México.

[5] Mediatec, G. (2012). Obtenido de ROBOTICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL :<http://www.grupomEDIATEC.com/robotica/index.html>

[6] Beiter, M., Coltin, B., & Liemhetcharat, S. (2004). *An Introduction to robotics with NAO*. Aldebarán.

[7] Medina, L. E. (2011). *Simulación del comportamiento para robots humanoides en un juego de fútbol*. México, D.F.

[8] Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cuantitativa*. Madrid, España: Ediciones Morata.

[9] NAO Documentation. (20 de 04 de 2015). Obtenido de NAO Software 1.14.5 documentation: <http://doc.aldebaran.com/1-14/index.html>



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Diseño y análisis de armadura para máquina pulidora de placas de mármol mediante la herramienta Simulation de Solidworks



Colaboración

Pedro Cruz Ortega; Adolfo Manuel Morales Tassinari; Javier Guevara Rivera, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

RESUMEN: El presente trabajo tiene como propósito mostrar el diseño de una armadura o carcasa que se usará como parte fundamental de una máquina que ayudará a la eficacia del proceso de pulido de placa de mármol de la empresa “Corte, Pulido y Laminao de Mármol Solano” localizada en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, actualmente la empresa no cuenta con un equipo de este tipo. Se parte de la idea de que el componente debe interactuar simultáneamente entre dos máquinas, la primera de ellas es una pulidora tipo “brazo” y la segunda de ellas es una cortadora tipo “puente”. Para llevar a cabo este diseño se analizaron los requerimientos cinemáticos y de operación requeridos por la empresa respecto a las velocidades de operación del proceso de pulido; a partir de los datos obtenidos por medio de un método convencional de diseño se plantea el esbozo de la armadura de la máquina; para corroborar los resultados, se utilizó el software Solidworks 2016, para un análisis más detallado de la misma.

Palabras clave: Armadura, carcasa, diseño, mármol, plato pulidor, pulidora.

ABSTRACT: The purpose of the present work is to show the design of an armor or carcass to be used as a fundamental part of a machine that will help the efficiency of the marble slab process of the company Solano Marble Cut, Polished and Laminate In Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico, the company does not currently have such equipment. It starts from the idea that the component must interact simultaneously between two machines, the first one is an “arm” type polisher and the second one is a “bridge” type cutter. In order to carry out this design we analyzed the kinematic and operating requirements required by the company regarding the speed of operation of the polishing process; From the data obtained by means of the conventional method of design the outline of the armature of the machine is proposed; To corroborate the results, the software Solidworks 2016 was used, for a more detailed analysis of the same one.

Key words: Armature, carcass, design, marble, polishing plate, polisher.

INTRODUCCIÓN

Los mármoles son rocas sedimentarias carbonatadas (principalmente calizas) que por un proceso de metamorfismo han alcanzado un alto grado de cristalización. Sin embargo, esta denominación se ha extendido a otras rocas semicristalinas, con o sin carbonato cálcico, que admiten el pulimento adquiriendo cierto brillo, como los “mármoles” verdes, que consisten en serpentinas con un contenido nulo de carbonato cálcico, o los travertinos que son rocas calizas sedimentarias y no metamórficas, y algún tipo de calizas. Al microscopio no presenta orientación estructural, es muy compacto. Tiene mayor dureza, resistencia y durabilidad que las calizas. El valor del mármol se encuentra directamente vinculado a las peculiaridades mencionadas de color, textura y transparencia, a las cuales habría que añadir un cuarto elemento, representado por el tamaño de los bloques extraídos en los yacimientos [1].

Toda cadena productiva requiere de una infraestructura física adecuada que permita el buen desempeño de sus actividades, el mármol no escapa a esta condicionante. En México la industria del mármol se encuentra moderadamente desarrollada y en términos generales su explotación se realiza en pequeña escala. A pesar de que se tiene la certeza de que existen reservas de muy buena calidad, sólo unas cuantas empresas disponen de la infraestructura física y material, así como del recurso humano calificado para la extracción, el beneficio y la comercialización.

Por otra parte, la falta de infraestructura adecuada por parte de algunas empresas, llega a afectar la actividad productiva, especialmente durante la temporada de lluvias, pues con frecuencia, las condiciones de alto deterioro de los caminos y de las rutas de acceso a las canteras o a las plantas de beneficio suelen dificultar, o incluso impedir por completo, el tránsito de los camiones que transportan el mármol en bruto o transformado, que dicho sea de paso, son materiales de un peso y volumen considerables [2].

Hasta los años sesenta, la maquinaria y los métodos de abrasión y pulido de mármol eran los mismos que se utilizaron antes de la Segunda Guerra Mundial. En un principio, se utilizaban "pulidoras", consistentes en una placa grande con abrasivos de arena o carborundo; algunas de ellas todavía estaban funcionando a principios de los años treinta; luego se introdujeron pulidoras de mano alimentados por correa y éstas, a su vez, fueron reemplazadas por la última generación de pulidoras con un motor y una unidad reductora estrechamente montados sobre el eje [3]. La Figura 1 muestra la imagen del proceso tradicional de pulido.



Figura 1. Proceso tradicional de pulido. Tomada de [3]

En contraste a lo anterior hoy en día se observa con facilidad el hecho de que se han realizado grandes avances en este campo. Las máquinas más recientes han proporcionado un acabado superficial óptimo y pueden pulir mármoles blancos a razón de 2m²/h y los coloreados a 1,5m²/h, gracias a nuevos abrasivos en forma de pequeñas pastillas de fricción. Estas máquinas están todavía en uso en la actualidad donde los acabados de alta calidad, especialmente en piezas producidas en un número limitado, son necesarios [3].

Actualmente, los discos de pulido se accionan a través de husillos de rotor patentados, que han sido construidos como sistema monoblock con deslizamiento vertical controlado. Además, los discos pulidores que se utilizan en óptimas condiciones operativas realizan la mejor calidad de pulido con menor consumo de herramienta abrasiva [4]. La Figura 2 muestra la imagen de una serie de cabezales de pulido de la maquina automatizada.



Figura 2. Pulidora automatizada. Tomada de [4]

En el municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existen canteras de materiales pétreos diversos; en consecuencia, la actividad económica se basa en gran medida a los empleos en canteras o fábricas transformadoras de mármol. Actualmente existen microempresas que utilizan los remanentes de dichas fábricas, por lo que continuamente se requiere del diseño de maquinaria para lograr el crecimiento de las mismas. Por otra parte, existe maquinaria que en ocasiones es modificada para lograr más de un propósito de fabricación, sin embargo; esto es poco factible al momento de la producción por las malas adaptaciones que involucran tiempos y paros innecesarios.

El presente trabajo tiene como propósito mostrar el diseño de una armadura o carcasa que se usará como parte fundamental de una máquina que ayudará a la eficacia del proceso de pulido de placa de mármol de la empresa "Corte, Pulido y Laminado de Mármol Solano" localizada en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Partiendo de la premisa de que el componente debe interactuar simultáneamente entre dos máquinas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa "Corte, Pulido y Laminado de Mármol Solano", se dedica al corte, pulido, laminado y venta en acabados de mármol, para pisos, decoraciones en baños, fachadas, etcétera; de acuerdo con las necesidades de sus clientes. Debido al crecimiento paulatino existen en la empresa necesidades de producción, para las cuales se requiere el diseño de un sistema de pulido de mármol para acabados especiales que interactúe entre dos de las máquinas que la empresa ya posee: una pulidora de brazo y una cortadora de puente. La Figura 3 muestra la pulidora de brazo convencional.



Figura 3. Fotografía de la pulidora de brazo convencional

La pulidora de brazo se compone de una mesa de hormigón en la cual se colocan las placas de mármol, además se compone de una estructura articulada con un mandril vertical el cual soporta un plato al que se le colocan diversos tipos de abrasivos; el mandril es accionado mediante transmisión por bandas y un motor eléctrico.

Como puede apreciarse en la imagen, la pulidora de brazo tiene un cabezal de pulido sin embargo no es funcional por no ser desmontable, por lo que no puede acoplarse a otro equipo; por otra parte su diseño no permite que el agua de enfriamiento

se distribuya uniformemente desde el centro hasta el perímetro del plato de pulido, esto es debido a que la flecha del mandril debería de ser hueca, en lugar de esto se tienen regaderas laterales que no permiten un buen funcionamiento de los abrasivos y propician al desgaste temprano; así mismo la calidad de los diferentes tipos de acabado también se ve afectada.

Por otra parte una cortadora de placas de mármol tipo puente es una máquina que se compone de una mesa de hormigón en la cual se colocan las placas de mármol, esta mesa puede ser fija o móvil verticalmente, la cortadora tiene un carro porta discos que se desplaza de forma transversal (mediante un sistema hidráulico o mecánico) y longitudinal (mediante un sistema piñón cremallera) para poder realizar diferentes medidas de corte; el mandril es accionado mediante transmisión por bandas y un motor eléctrico; una de las ventajas de esta máquina es que puede automatizarse total o parcialmente. La Figura 4 muestra la cortadora de puente convencional.



Figura 4. Fotografía de la cortadora de puente

Al hablar del diseño de armaduras o carcasas y de elementos de soporte para maquinaria, puede mencionarse que dicho diseño suele constituir uno de los mayores retos en el desarrollo de la misma; algunos autores mencionan que: en el diseño de estos elementos suele incorporarse la mayor parte de la masa total de la máquina y que esto influye considerablemente en los costos de manufactura. De lo anterior también se argumenta que el diseño de este tipo de elementos se basa en métodos heurísticos sin el apoyo de metodologías y herramientas informáticas. Se menciona conjuntamente que el proceso de desarrollo o ciclo de vida sigue la

estructura del diseño tradicional o secuencial, donde las diferentes actividades de diseño se ejecutan una a continuación de la otra, con pocas retroalimentaciones [5].

Con el objetivo de lograr una nueva concepción en el proceso de diseño de nuestra armadura se utiliza la metodología propuesta en [5], la cual establece cuatro dominios que van desde la captura de los requerimientos del constructor de armaduras, hasta la definición conceptual de la misma.

Paso 1. Dominio de los usuarios.

Paso 2. Dominio funcional.

Identificar los modos de operación.
Identificar la función global.

Paso 3. Dominio modular.

Analizar la estructura funcional.
Identificar los módulos enlazados.

Paso 4. Dominio de análisis.

Establecer los parámetros para evaluar los conceptos.
Evaluar los conceptos.
Seleccionar los conceptos.

Lo anterior explica que, en base a los dominios: funcional, modular y de análisis existen conceptos claves que deben ser tomados en consideración al momento de realizar un diseño de una armadura o carcasa.

Con esta metodología se espera obtener el diseño de la armadura que es parte fundamental en el diseño integral de una pulidora de acabados de mármol; con el diseño de esta maquinaria se espera hacer más eficiente el proceso productivo de la empresa "Corte, Pulido y Laminado de Mármol Solano".

Es importante mencionar que el trabajo se complementa haciendo uso de un software CAD, concretamente Solidworks Simulation.

Paso 1: Dominio de usuarios

El primer dominio permite identificar cuáles son los requerimientos del constructor de armaduras que inciden desde los diferentes escenarios establecidos en el diseño y desarrollo de las mismas. El diseño inicial de nuestra armadura se basa en los datos que se presentan en la Tabla 1, estos datos fueron obtenidos en campo como las características que se consideran necesarias para la elaboración del mecanismo de pulido final y su adecuado funcionamiento; estos datos fueron útiles posteriormente para los cálculos.

Tabla 1. Datos para el diseño del mecanismo de pulido.

Elemento	Datos
Polea	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro externo de polea 20 cm. • Radio de polea 10 cm. • Garganta de polea 1.6 cm. • Cuerpo de polea 2 cm. • Diámetro de llanta 14 cm. • Eje de polea 4.5 cm. • Chavetero de polea 1 cm. • Altura de polea 6.5 cm.
Eje del mandril	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del eje 5 cm. • Radio del eje 2.5 cm. • Longitud del eje 60 cm.
Disco para pulido	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de disco 35 cm. • Espesor de disco para pulido 1 cm.
Soporte en pulidora de brazo y para la cortadora de puente	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de soporte 24 cm. • Ancho de soporte 12.6 cm. • Espesor de soporte 5.5 cm.
Motor eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • 1800 rpm ambos motores
Brazo de carcasa	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de brazo 26 cm. • Ancho de brazo 16 cm. • Espesor de brazo 3 cm.

Paso 2. Dominio funcional

Identificar los modos de operación

Con respecto al modo de operación es importante mencionar que el elemento a diseñar solo se utilizará para pulir placas que exceden las dimensiones de la pulidora de brazo por que esta solo pule placas de alrededor de 1.00 m x 1.50 m Con ayuda de la cortadora de puente y el aditamento diseñado se espera pulir placas de 1.50 m x 3.00 m Debido a la versatilidad requerida, el procedimiento de cambio del sistema de la pulidora de brazo a la cortadora de puente, solo se realizará por medio de un soporte común y anclaje por medio de tornillería.

Identificar la función global

La función global de la armadura es resguardar y alinear la flecha de transmisión vertical, así como proporcionar soporte a los respectivos rodamientos de la misma. Debe tenerse en cuenta que una flecha bien alineada implica un disco pulidor estable en cuanto a su posición horizontal la cual es indispensable para un pulido uniforme y evitar acanaladuras en el material y en el peor de los casos una posible oscilación del plato pulidor.

Paso 3. Dominio modular

Analizar la estructura funcional

En la Figura 5 se presenta el bosquejo realizado de la pulidora de acabados, de esta manera se puede

identificar y analizar cada componente. Se identifica la armadura y su funcionalidad, así como la flecha vertical la cual sostendrá un plato pulidor, la flecha girará por medio de la polea; posibles aditamentos como guarda polvos y manijas de operación se muestran también. Para este propósito se utilizó la herramienta Solidwork 2016.

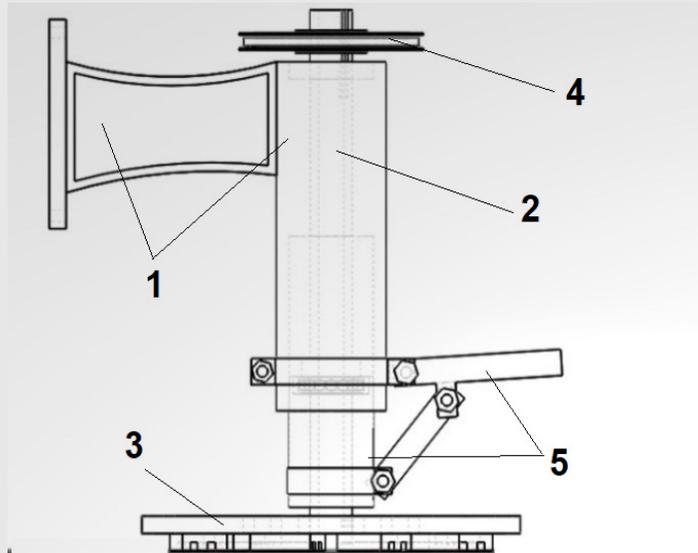


Figura 5. Bosquejo inicial de la pulidora de acabados

Identificar los módulos enlazados

En la Figura 5 se puede observar que la armadura o carcasa es un barril cilíndrico que albergará una flecha vertical montada en dos rodamientos, al respecto deberá tenerse en cuenta en el diseño el montaje de posibles retenes, graseras y anillos de retención; la flecha girará mediante transmisión con bandas y una polea. La armadura tiene un brazo de montaje el cual debe tener características o medidas específicas para el montaje en ambas máquinas. Por otra parte, la flecha deberá ser hueca y su maquinado incluirá los cuñeros de montaje de polea, así como los de montaje del plato de pulido.

En la Tabla 2 se analizan las diferentes interacciones de la carcasa a diseñar, con los demás elementos del sistema de una pulidora de acabados.

Paso 4. Dominio de análisis

Establecer los parámetros para evaluar los conceptos.

La selección de la polea está en función del diámetro de la flecha y la relación de velocidades.

El diseño de la flecha está en función de la velocidad de la polea, la masa del disco, el torque y el tipo de rodamientos etcétera.

El diseño de la armadura comprende: maquinados especiales, tipo de material, así como selección y resistencia de soldadura.

La selección de rodamientos está en función de las velocidades de trabajo, las horas de trabajo y el tipo de carga aplicada, se debe considerar su lubricación.

La camisa comprende un diseño en función de las dimensiones de la carcasa y de la flecha.

El plato de pulido deberá sostener 5 abrasivos la masa total del mismo es de 3.5 kg.

Tabla 2. Datos iniciales para el bosquejo de la armadura.

Componentes de la pulidora	Nombre	Descripción
	Polea para el eje	Selección de polea estándar en este caso en "v". Se encarga de la transmisión de potencia del motor hacia la flecha o eje.
	Eje o flecha	Este eje o flecha es hueco de material acero. Montada sobre dos rodamientos y sostiene al plato pulidor. Se encarga de la transmisión de potencia al plato de pulido.
	Armadura o carcasa exterior de pulidora.	La armadura o carcasa es una pieza dura y resistente, que da soporte y protege a otras partes del equipo (rodamientos y flecha).
	Rodamientos de bolas, de ranura profunda	Los rodamientos rígidos de bolas son adecuados para aplicaciones de alta velocidad.
	Camisa para el eje	Esta camisa se utiliza solo para levantar y cubrir el eje o flecha al cambiar las láminas de mármol.
	Disco para pulido	Este disco es para dar pulido a las piezas, lleva abrasivos intercambiables.

Evaluar los conceptos

Del análisis y selección de los elementos de máquina se obtuvieron los siguientes datos necesarios para el diseño de la armadura

-Mediante la Ec. (1) se obtuvo una velocidad para la polea de 490 rpm.

$$D1n1 = D2n2 \quad \text{Ec. (1)}$$

-Para el diseño del eje o flecha se propone un material ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200), las características de este acero están contenidas en la norma ASTM A108. Los cálculos realizados en el diseño de la flecha quedan fuera del alcance de este trabajo sin embargo debe mencionarse que la flecha no sufrirá pandeo y los esfuerzos cortantes a los que será sometida son aceptables.

-En base a las condiciones de trabajo y a la información recabada en la Tabla 1, se proponen rodamientos de bolas Tipo Abierto 6210, que facilitan la tarea de lubricación. Por otra parte, los rodamientos de bolas son los más comunes y utilizados en las aplicaciones de maquinaria, siendo capaces de soportar cargas axiales y radiales es decir cargas combinadas. Su característica principal es la velocidad de giro, siendo esta superior que en otros tipos de rodamientos [6].

La Figura 6 muestra una vista de sección de los elementos de la pulidora de acabados en su totalidad la cual interactuara entre la pulidora de brazo y la cortadora de puente, nótese que la sección más tenue corresponde a la carcasa que debe diseñarse, la cual se compone de un cilindro, un brazo y una base para su montaje.

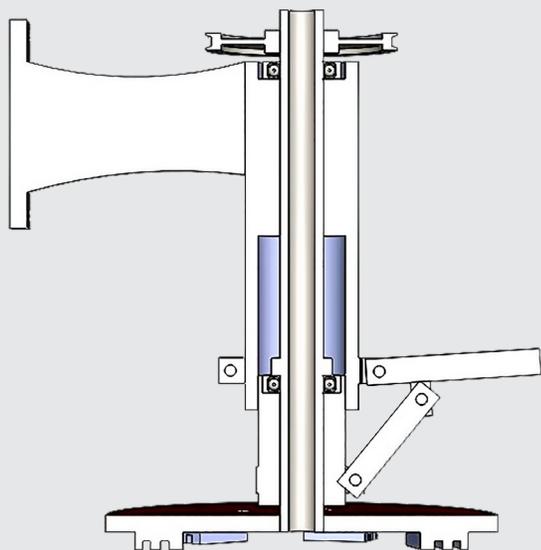


Figura 6. Vista de sección de la pulidora y la carcasa

Seleccionar los conceptos

De la información obtenida se determina que el soporte o brazo para el cambio entre máquinas ira soldado al cilindro, esto debido a que cada componente

para su fabricación debe ser maquinado individualmente y después se unen por medio de soldadura.

Debido a que el pulido se consigue mediante abrasión, pasando por diferentes granulometrías cada vez más finas que dan a la piedra ese aspecto de "brillante", se realizó el análisis del disco por medio de Solidwork 2016, conforme a las dimensiones del eje, el efecto debido a la torsión es muy mínimo, por que el agua de lubricación disminuye el coeficiente de fricción entre el abrasivo y el material a trabajar por lo cual no es de consideración para el diseño.

En la Tabla 3 se analizan las dimensiones finales propuestas para los elementos de la armadura o carcasa a diseñar (cilindro, brazo y base de sujeción). Debido a que el cilindro debe cumplir con la función de resguardar a la flecha y alojar a los rodamientos, se plantea una medida estándar de tubo estructural de 4" equivalente a 101.6 mm, el diámetro y profundidad de la caja corresponden al diámetro exterior y ancho del rodamiento respectivamente [7].

Las dimensiones del brazo y la base para montaje serán sometidas a validación en Solidworks Simulation las cuales son propuestas por los diseñadores a partir de la información recabada en las máquinas.

Tabla 3. Componentes de la armadura o carcasa.

Nombre del componente	Descripción
Cilindro	Diámetro exterior 101.6 mm Diámetro de caja 90 mm Espesor de pared 10 mm Profundidad de caja 20 mm Largo de cilindro 450 mm
Brazo	Largo 250 mm Ancho o alto 150 mm Espesor de contorno 30 mm Grosor de contorno 10 mm Espesor de nervio 10 mm Radios de arco 450 mm
Base para montaje	Ancho de base 126 mm Largo de base 240 mm Espesor de base 20 mm Diámetro de 4 barrenos 13 mm

RESULTADOS

Para el análisis estático de la carcasa se utilizó la herramienta Simulation de Solidworks en su versión 2016, así entonces, se consideran los datos obtenidos del análisis realizado para la flecha de transmisión: un esfuerzo torsional $T = 109.3 \text{ Nm}$ y un esfuerzo permisible $\sigma_{per} = 190 \text{ Mpa}$.

La Figura 7 muestra el espectro de esfuerzos el cual de acuerdo con la teoría de fallas de Von Mises señala que la máxima concentración de esfuerzos se encuentra en la geometría del brazo que denota un color rojo.

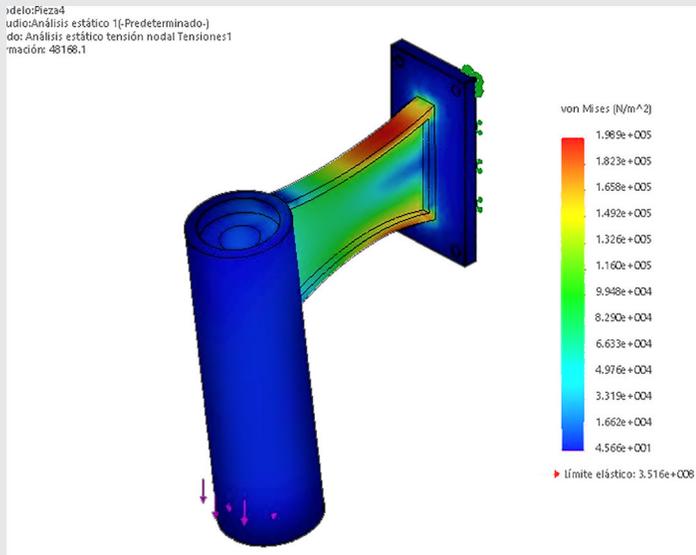


Figura 7. Esfuerzos a los que se somete la armadura

Un análisis más preciso con respecto a las fuerzas de reacción en la armadura sugiere pequeños desplazamientos en el sistema; de esta forma puede argumentarse que los rodamientos no recibirán una combinación importante de cargas radiales y axiales, sin embargo, por factor de seguridad se determina que la selección propuesta del tipo de rodamiento Tipo Abierto 6210 en este caso es adecuada aludiendo a cargas axiales imprevistas.

La Figura 8 muestra en color rojo sección que tiende a un desplazamiento significativo, nótese que el brazo y la base de montaje no presentan deformaciones.

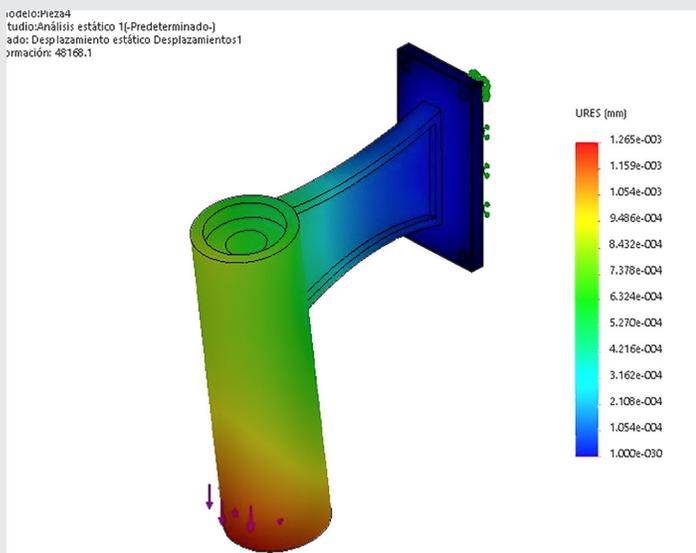


Figura 8. Desplazamientos en la armadura

Considerando que los componentes cilindro, brazo y base se montaje deben ensamblarse entre si, se hace énfasis en el análisis de la soldadura que deberá unir los tres componentes; se propone un electrodo 7018 el cual ofrece una penetración media y crea soldaduras resistentes a grietas en el metal, es eficiente para producir soldaduras de alta calidad en acero y metales difíciles de trabajar.

El electrodo 7018 es ideal para aplicaciones de construcción que requieren de soldaduras fuertes y de calidad, crea soldaduras que son resistentes a la rotura, también son ideales para trabajar en acero al carbono. Se utilizan en soldadura de tuberías y soldadura de acero estructural [8].

Entendidos los requerimientos de soldadura y análisis de esfuerzos, se selecciona para la construcción de la armadura un ACERO AISI-SAE 1045; éste es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de soldadura, este material responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado; por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria [9]. Por lo que en base a nuestros requerimientos de diseño, optimización de costos para la empresa y procesos de manufactura el ACERO AISI-SAE 1045 es la mejor selección.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo muestran que el elemento crucial de la armadura es el brazo, sin embargo, se considera que las dimensiones propuestas, así como el material seleccionado para su diseño soportaran los esfuerzos a los que estará sometido. Debe mencionarse que el diseño, así como el análisis de esfuerzos de este componente pudo llevarse a cabo gracias a la herramienta CAD empleada para este propósito.

Así mismo, que el análisis realizado utilizando las dimensiones propuestas en la Tabla 3 para la base de montaje y el cilindro arrojó resultados satisfactorios para nuestro diseño.

Finalmente puede concluirse que la carcasa o armadura como componente de la máquina pulidora en su posible fabricación tendrá un bajo costo para la empresa. Esto último se alude a que los materiales se encuentran fácilmente en el mercado y a que los procesos de manufactura involucrados son relativamente convencionales.

REFERENCIAS

[1] México. *Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería (2012). Estudio de la Cadena Productiva del Mármol. Documento de Análisis. Dirección General de Promoción Minera.*

[2] México. *Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería* (2011). *Estudio de la Cadena Productiva del Ónix*. Documento de Análisis. *Dirección General de Promoción Minera*.

[3] Conti, G.; Lisanti, V.; Mannoni, T.; Montani, C.; Pinzari, M.; Ragone, M.; Ricci, A. y Semel, G. (1988). *Marble in the World. The Stone industry and its trade*. (pp. 175-193). Italia: *Società Editrice Apuana Pacini*

[4] Pedrini, (2008). *Lucidatrice a Nastro Continuo Per Marmo, Travertino e Pietre*. *Licedatura e Finitura Marmo*. (pp. 1-10).

[5] Álvarez, A.; Pérez, R. y Riba, C. (2005). *Metodología para el diseño de Carcasas*. *Congreso Internacional Conjunto XVII INGEGRAF* 12(1), 4-7.

[6] Mott. R. L (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (pp. 597-617). México: *Pearson, Prentice Hall*

[7] SRN, (2005-2006). *Catálogo general de rodamientos SNR Industry*. *Informaciones técnicas y listas de productos* (pp. 1-133).

[8] INFRA, (2016). *Catálogo general 2016 de productos* (pp. 1-149).

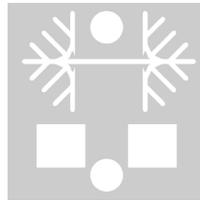
[9] Cia. General de aceros S.A, (2007). *SAE 1020 y 1045. Aceros Ingeniería al Carbono*. (pp. 1-6).



Tierra,
Medio Ambiente
y Energía

Ingeniantes

Análisis e implementación de un Convertidor Boost Multientrada para aplicaciones en fuentes de energías renovables



Colaboración

Freddy Chan Puc; Jesús Álvarez Ruiz; Víctor Sánchez, Universidad de Quintana Roo; Daniella Pacheco Catalán, Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY; Diego Espinoza Trejo, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

RESUMEN: Ante la diversidad de fuentes de energía renovables que existen (fotovoltaica, eólica, celdas de hidrogeno, etc.), es necesaria una etapa de potencia que acondicione el voltaje de cada fuente a un bus de voltaje común. Existen diversas soluciones para el acondicionamiento de las fuentes de energía renovables, cada una tiene características sobresalientes sobre las demás, pero también conlleva una serie de desventajas. En este trabajo se presenta un análisis de los diversos convertidores de potencia multi-entrada propuestos para el acondicionamiento en fuentes de energía renovables. De igual manera se presenta el diseño e implementación de un Convertidor Boost Intercalado, así como el análisis de su desempeño. Se presentan los resultados experimentales del convertidor para varios tipos de transistores, de control y tipo de topología. Se incluyen una comparación con el convertidor Boost convencional.

PALABRAS CLAVE: Acondicionadores de Energía, Convertidores de potencia multientrada.

ABSTRACT: Given the diversity of renewable energy sources that exist (photovoltaic, wind, hydrogen cells, etc.), a power stage is required to condition the voltage of each source to a common voltage bus. There are several solutions for the conditioning of renewable energy sources, each one has outstanding characteristics over the others, but also carries a number of disadvantages. This work presents an analysis of the various multi-input power converters proposed for conditioning in renewable energy sources. Similarly, the design and implementation of a Boost Interleaved converter is presented, as well as the analysis of its performance. The experimental results of the converter are presented for several types of transistors, control, and topology type. A comparison with the conventional Boost converter is included

KEYWORDS: Power Conditioners, Multi-Inverter Power Converters.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de generación distribuidos (SGD) involucran una diversidad de fuentes de energía (celdas solares, celdas de hidrogeno, supercapacitores, etc.) que, a través de algún tipo de acondicionador de potencia, permite interconectarse a un bus de CD regulado como se observa en la Figura 1a. Existen diversos convertidores de potencia para el acondicionamiento de energía. También existen diversos parámetros de diseño p.e. volumen, eficiencia, costo, confiabilidad, etc. Se analizaron los diferentes tipos de convertidores de potencia multi-entrada sugeridas en la bibliografía [1-5], la Figura 1b muestra el diagrama a bloques de un acondicionador multientrada para un bus de CD.

De igual manera, en este trabajo se presenta el diseño de un Convertidor Boost intercalado CBI, seleccionado después de un análisis del estado del arte. Para la elección del convertidor CD/CD multientrada se analizaron diferentes propuestas, tomando en cuenta sus ventajas y desventajas considerando las siguientes características:

- Costo: El costo esperado del convertidor va de la mano con el número de componentes que utiliza una topología en particular.
- Fiabilidad: En un convertidor CD/CD, componentes como interruptores, diodos, capacitores e inductores están sometidos a estrés eléctrico constante; por lo tanto, un número mayor de componentes incrementa la probabilidad de fallo en el convertidor.
- Flexibilidad: Compatibilidad de los convertidores CD/CD multientrada de integrar diferentes fuentes y proporcionar amplia gama de tensiones de salida.
- Eficiencia: Es la relación entre la conversión de la energía y como esta es aprovechada,
- Control aplicado: La técnica de control se debe de elegir de acuerdo al modo de operación del convertidor, modo continuo o discontinuo. [1].

Convertidores CD/CD múltiples entradas sin aislamiento

La topología propuesta en [6], mostrada en la Figura 2, involucra cuatro modos de funcionamiento diferentes, los cuales se basan en la disponibilidad de las fuentes de tensión de entrada y el estado de conducción de sus respectivos interruptores (S1 y S2). Este convertidor es una combinación del reductor-elevador (Buck-Boost) y el convertidor reductor (Buck). El convertidor puede obtener energía de las dos fuentes sea de manera individual o simultánea, sin embargo, para un funcionamiento correcto se tienen que cumplir ciertas condiciones donde la fuente primaria V_{hi} , tiene que tener mayor voltaje (al menos mayor que la tensión de salida deseada) y la fuente secundaria V_{low} , debe tener un voltaje menor.

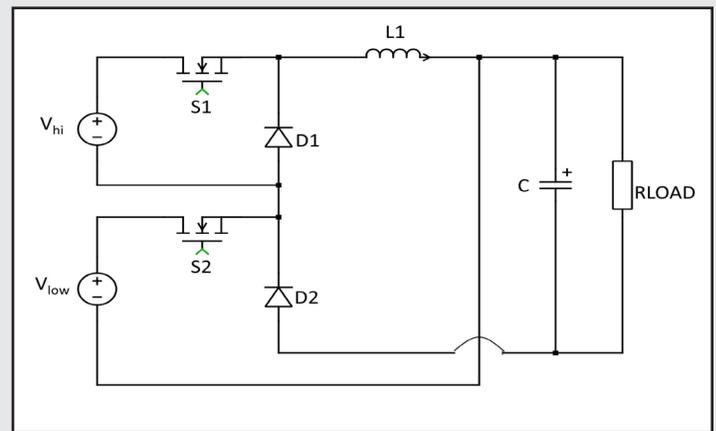
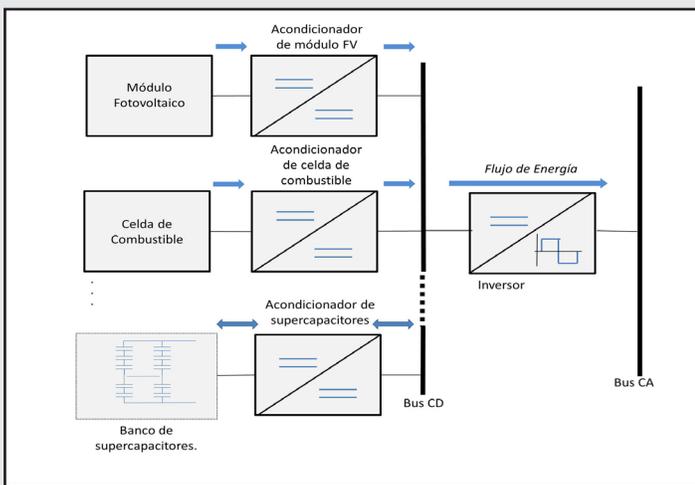
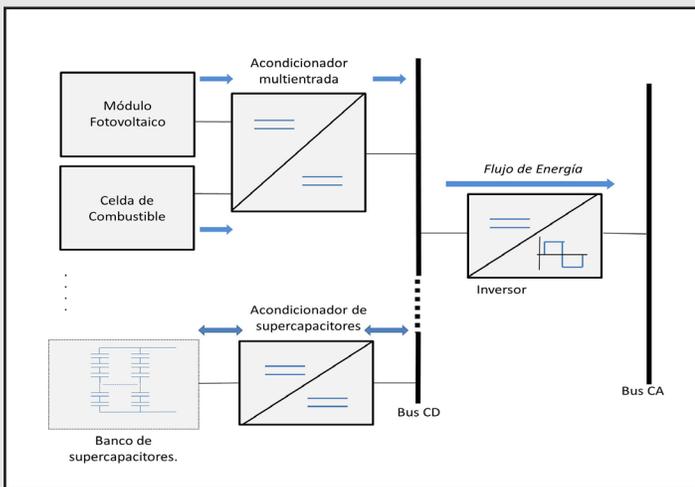


Figura 2. Convertidor de doble entrada Buck-Boost.



Una modificación de la topología anterior se presenta en [7]; donde se tiene un convertidor con n-número de entradas, basado en la topología Buck-Boost y mostrada en la Figura 3. Este convertidor ha reducido los componentes del circuito, pero su inconveniente es la salida de referencia negativa. Dicha salida se puede invertir mediante el uso de un transformador, que incrementa el costo y dimensiones de esta topología. Otro inconveniente es que sólo una de las fuentes puede entregar la energía a la vez.

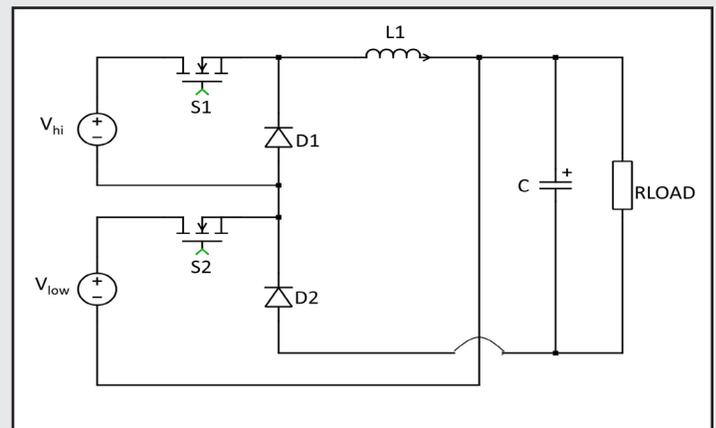


Figura 3. Convertidor Buck-Boost multientrada Unidireccional.

Figura 1. Sistema de Generación distribuido
a) Con acondicionador por cada fuente de energía,
b) Con acondicionador multi-entrada.

MARCO TEÓRICO

Existe una diversidad de Convertidores CD/CD de múltiple entrada para aplicaciones en sistemas de generación distribuidos. En esta sección se analizan cada una de las clasificaciones existentes, de estas topologías.

Los problemas mencionados anteriormente se eliminan mediante una topología bidireccional del convertidor CD/CD [8], como se muestra en la Figura 4, esta topología proporciona tensión de salida positiva sin ningún transformador adicional. También puede funcionar en modo bidireccional sin requerir de cualquier convertidor adicional. Este opera en tres modos Buck, Boost, y Buck-Boost. Pero el número de dispositivos ha aumentado lo que reduce la eficiencia por pérdidas de conducción, disminuye la fiabilidad y eleva el costo.

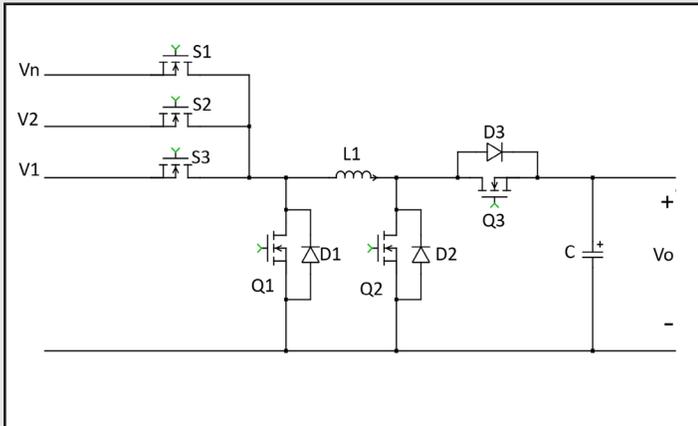


Figura 4. Convertidor bidireccional multientrada

En la Figura 5 se muestra una topología que integra un Buck-Buck (Reductor-Reductor) donde ambas fuentes pueden suministrar energía individual o simultáneamente [9]. Sin embargo, esta estructura trabaja bajo un concepto llamado MSCs (Convertidores CD/CD de Múltiple Fuente) y usa una topología denominada PVSC (Celda de fuente de Voltaje Pulsante) donde una fuente de voltaje está conectada en serie con el interruptor de control, además un diodo está conectado en paralelo con esta combinación. El diodo conectado en paralelo funciona como diodo volante o diodo de derivación de corriente.

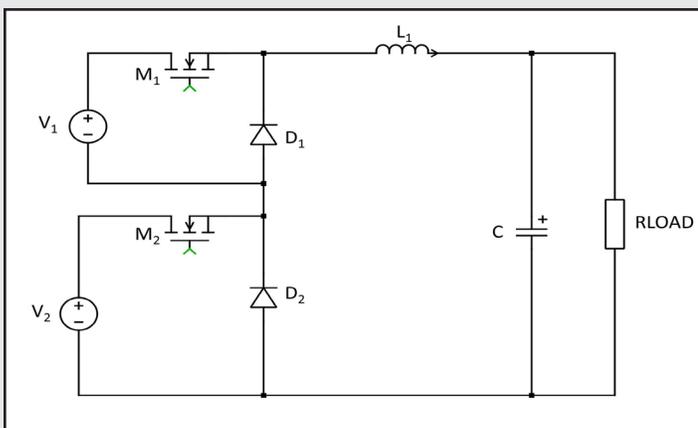


Figura 5. Convertidor de doble entrada Buck-Buck.

En la Figura 6, se muestra una topología que integra un Buck-Boost/Buck-Boost [10], en esta las fuentes de tensión son incapaces de alimentar la carga simultáneamente.

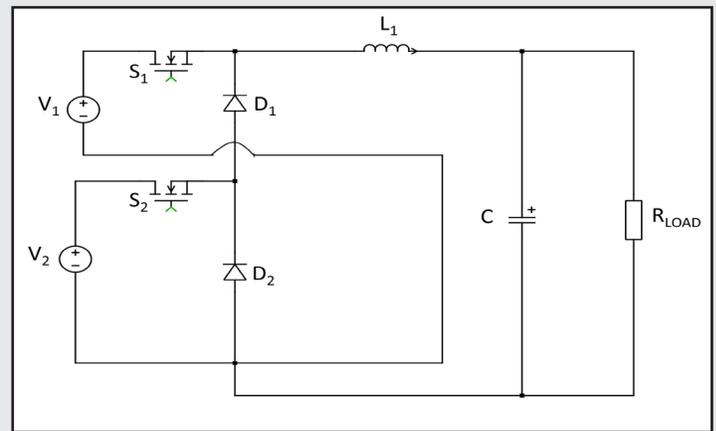


Figura 6. Convertidor de doble entrada Buck Boost-Buck Boost

La topología mostrada en la Figura 7, está basada en una topología de un convertidor Boost [11]. El convertidor es de doble entrada usando como fuentes de alimentación una fuente de energía renovable (fotovoltaica/eólica) y un arreglo de baterías. El costo del diseño no es tan alto debido a la cantidad de componentes usados y por ende sus dimensiones son menores, la técnica de control usada es modos deslizantes y opera en modo continuo.

El convertidor tiene tres modos de operación:

- Modo 1. Potencia entregada desde una sola fuente de tensión.
- Modo 2. No hay energía disponible de las fuentes de tensión.
- Modo 3. Potencia suministrada desde ambas fuentes de tensión.

Sin embargo, el inconveniente que se considera en esta topología es el dado en el modo 3, donde el interruptor S1 y S2 se encienden simultáneamente dejando a ambas fuentes de entrada en una conexión serie. Por lo tanto, se debe considerar la capacidad de corriente soportada por ambas fuentes, debido a que, si se tiene una fuente de entrada de menor capacidad que la otra, puede haber problemas de sobrecalentamiento en una de ellas, bajando su eficiencia y acortando su vida útil a lo largo de su uso.

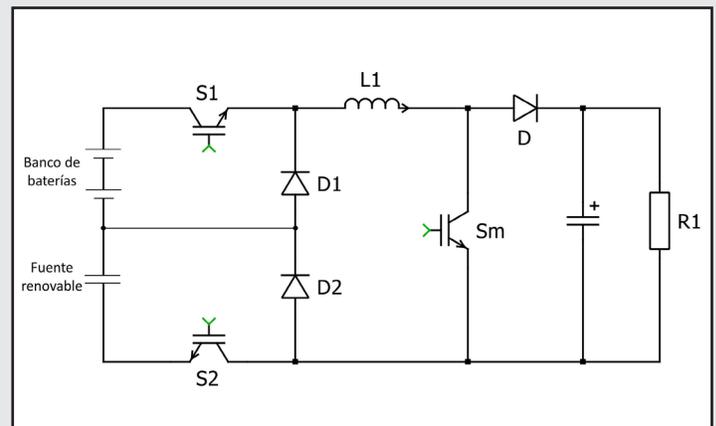


Figura 7. Convertidor CD/CD basado en convertidor Boost.

Convertidores CD/CD múltiples entradas múltiples salidas.

La topología mostrada en la Figura 8, consiste en un convertidor CD/CD de múltiples entradas múltiples salidas que se deriva del convertidor Buck-Boost [12]. Diferentes fuentes de entrada se conectan formando una matriz de interruptores las cuales son controladas bajo el concepto de energía compartida. El número de entradas y salidas se afirma que es ilimitado. Sin embargo, las fuentes de entrada no son capaces de activar las salidas simultáneamente. Una topología muy flexible al integrar múltiples fuentes, sin embargo, el número de componentes aumenta el costo y la eficiencia, además disminuye la fiabilidad. El convertidor opera en modo discontinuo y el control considera un esquema de ciclo de trabajo donde todos los interruptores tienen la misma frecuencia de conmutación; controlar múltiples interruptores aumenta la complejidad del control.

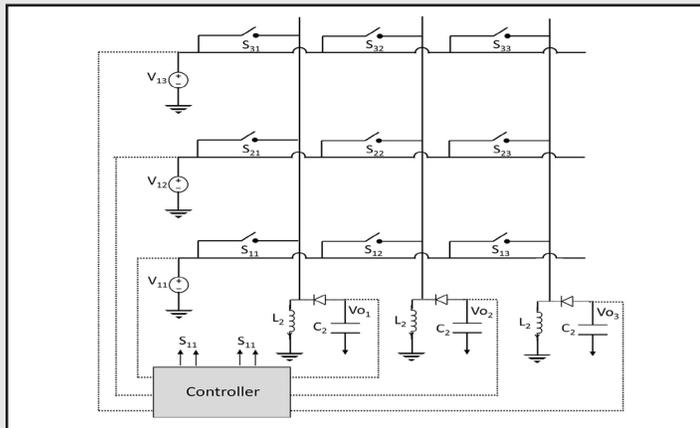


Figura 8. Convertidor de múltiples entradas-múltiples salidas.

Convertidores CD/CD múltiples entradas con aislamiento.

Un convertidor multientrada de puente completo se muestra en la Figura 9. Este convertidor combina dos fuentes de entrada de diferentes amplitudes y un acoplamiento magnético del transformador. El esquema permite utilizar un mayor número de fuentes. El flujo magnético que alimenta al inversor CD/AC es producido por las fuentes de corriente de entrada. Cada interruptor del inversor tiene un diodo en serie que bloquea la corriente inversa para asegurar la transferencia simultánea de energía de ambas fuentes. La etapa de salida consiste en un puente rectificador y filtros CA/CD. El convertidor puede suministrar energía de forma individual y simultánea, sin embargo, el diodo de bloqueo de corriente inversa conectado en serie con el interruptor elimina la posibilidad de operación del convertidor en modo bidireccional. Además, el elevado número de interruptores y la complejidad del controlador, incrementan tanto el costo como el tamaño, y reduce la fiabilidad del convertidor.

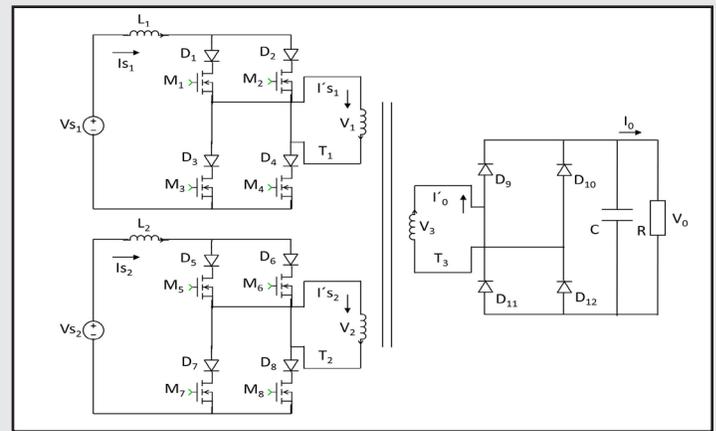


Figura 9. Convertidor multientrada de puente completo.

Un convertidor CD/CD bidireccional que cuenta con tres convertidores de medio puente [13], se muestra en la Figura 10. Este convertidor puede entregar la potencia en cualquiera de las direcciones con diferentes niveles de tensión, se puede lograr una conmutación suave, tiene menor número de componentes y es de alta eficiencia en comparación con las topologías de múltiple entrada de puente completo [14]. Sin embargo, el volumen debido a los transformadores del convertidor y el costo de los componentes sigue siendo una complicación.

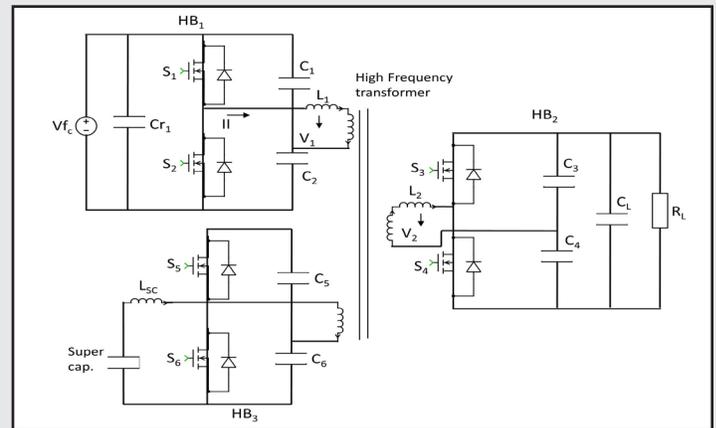


Figura 10. Convertidor CD/CD bidireccional con triple medio puente.

PROPUESTA DE CONVERTIDOR DE MULTIPLE ENTRADA

En la Figura 11 se presenta el Convertidor Boost Intercalado CBI, [15-18], es una variante del convertidor Boost, pero cuenta con una rama adicional de procesamiento paralela, donde tanto los inductores y diodos tienen que ser idénticos. Además, cada rama tiene su propio interruptor de potencia los cuales son controlados con señales PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

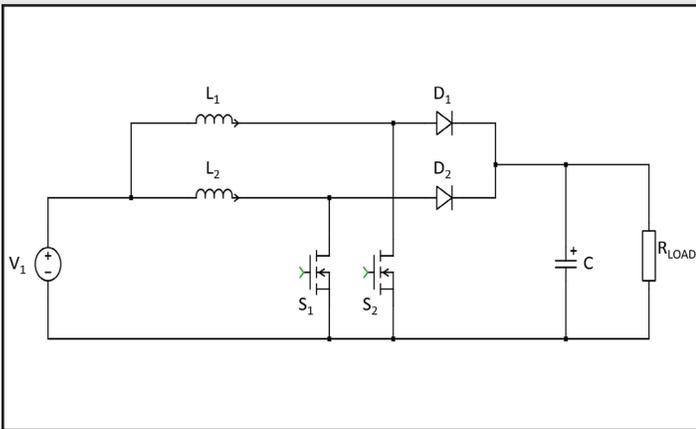


Figura 11. Convertidor Boost Intercalado.

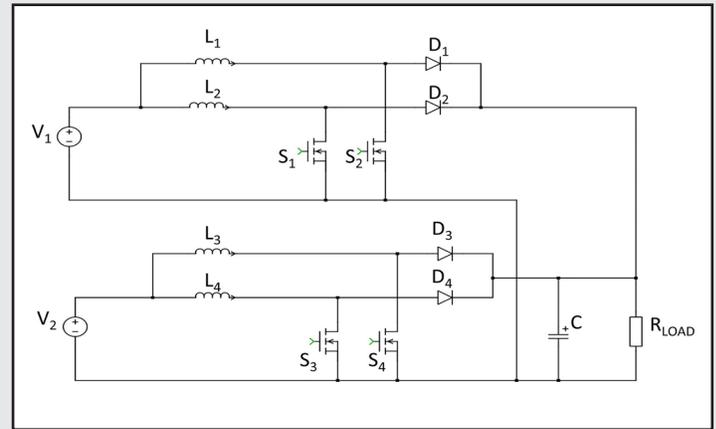


Figura 13. CBI de doble entrada una salida.

La frecuencia de conmutación en ambas ramas debe de ser la misma, pero sus señales PWM se modulan para tener un desplazamiento de fase de 180° eléctricos, tal como se muestra en la Figura 12. Tener dos fases ayuda a disminuir considerablemente el rizado de la corriente en la salida, esto es debido a que la corriente de entrada es dividida en cada fase, donde lo es la corriente de salida, i_{L1} e i_{L2} , son las corrientes en cada uno de los inductores. Además, la corriente al ser dividida, provoca que los componentes usados en el diseño sean de menor capacidad de potencia ayudando a mejorar la disipación de energía.

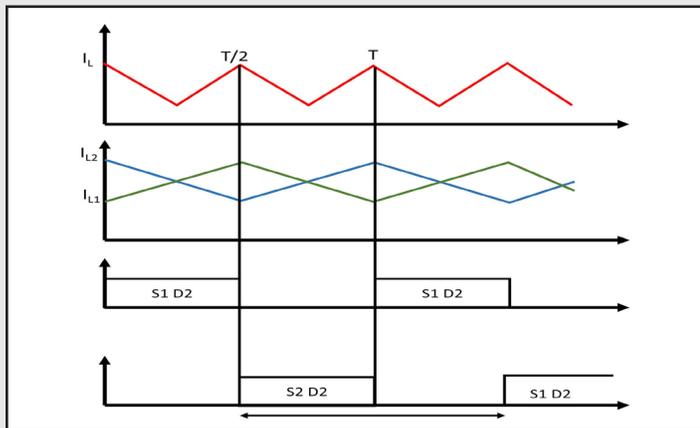


Figura 12. Formas de onda del convertidor Boost Interleaved.

Con las ventajas del CBI sobre el convertidor Boost convencional, se optó por la topología de múltiple entrada basada en CBI's conectados en paralelo, la cual se presenta en la Figura 13. Donde ambas fuentes suministrarán energía simultáneamente y cada convertidor tendrá su propio control PI (Proporcional Integrador) en modo voltaje. Se implementó el prototipo en una Placa de Circuito Impreso (PCB) y se realizaron mediciones de corrientes, tensiones, se calcularon potencias y eficiencias para analizar el desempeño del convertidor multientrada.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En esta sección se presentan los resultados experimentales para un CBI. Las especificaciones de diseño fueron:

$$V_i=16V, V_o=24, P_o= 100 \text{ watts}, F_{sw}=100kHz$$

En la Figura 14 se muestra el convertidor implementado en circuito impreso, consistente en dos ramas de conmutación con sus respectivos drivers.

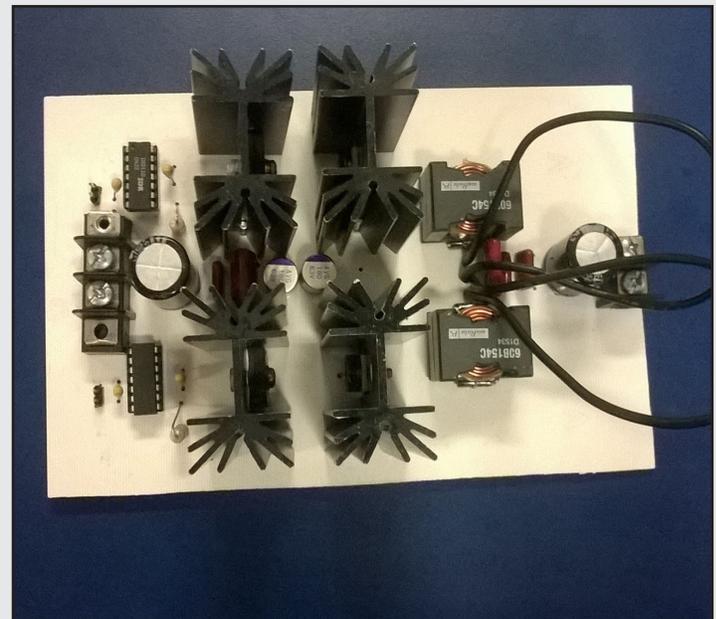


Figura 14. Implementación del CBI.

En la Figura 15 se muestra las señales de control que se aplica a cada rama del CBI con una frecuencia de 100 kHz. Como se mencionó con anterioridad las señales están desfasadas 180° entre sí (modo push-pull), para minimizar el rizado en la corriente de salida.

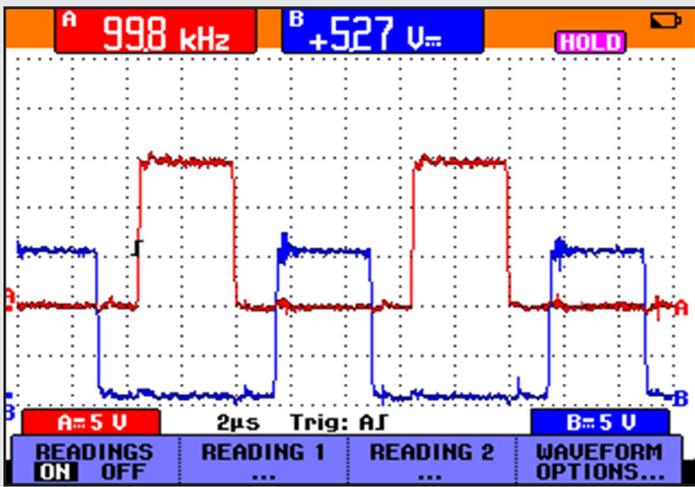


Figura 15. Señales de control del PWM para cada rama

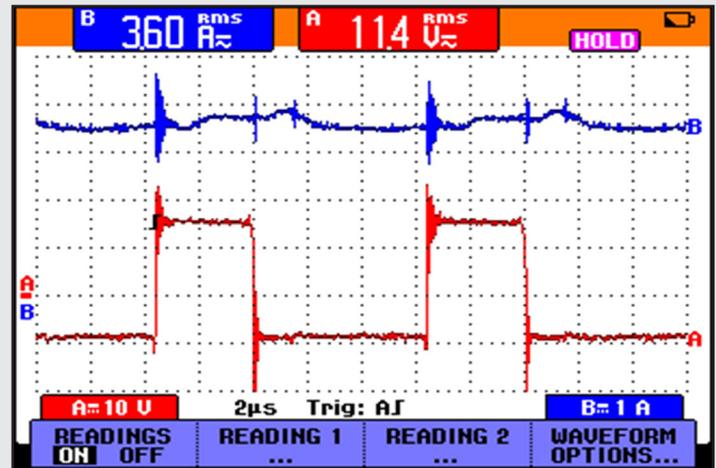
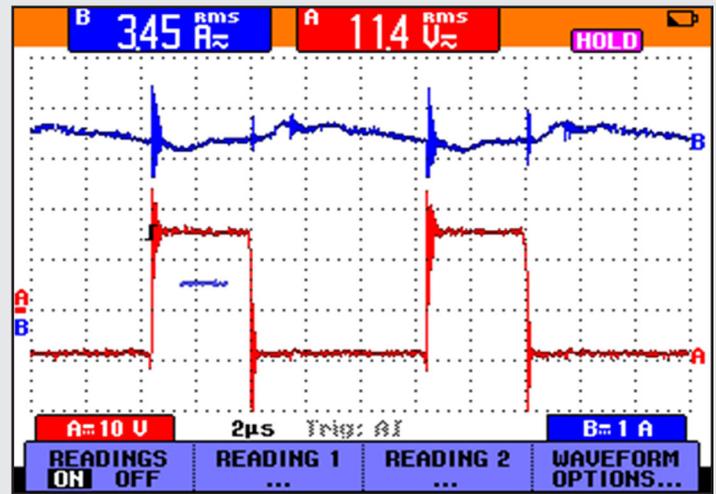


Figura 17. Esfuerzos de corriente y voltaje en cada rama CBI.
a) IL1, VL1
b) IL2, VL2

La Figura 16 muestra tanto el voltaje de entrada como el voltaje de salida del convertidor. Se observa la regulación de tensión (rizado mínimo).

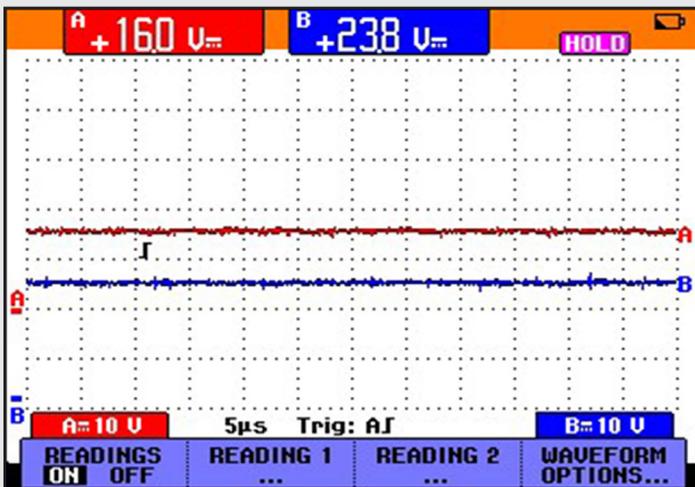


Figura 16. Señales del Voltaje de entrada y salida.

En la Figura 17 se muestra los esfuerzos en corriente y voltaje de cada uno de los inductores L1 y L2, en este caso la corriente de entrada no sobrepasa el límite permitido de 6A. Se observa que el convertidor opera en Modo de conducción continuo (MCC). Existen leves perturbaciones debido a las conmutaciones.

En la Figura 18, se observa el comportamiento térmico de uno de los primeros prototipos implementados y la diferencia considerable entre las temperaturas de cada rama. Se puede observar que uno de los disipadores acoplados a uno de los MOSFET está a una temperatura de 62 °C mientras el otro se encuentra a 44.9 °C. Esto ocurría porque la corriente circulaba en su mayoría por una sola fase.

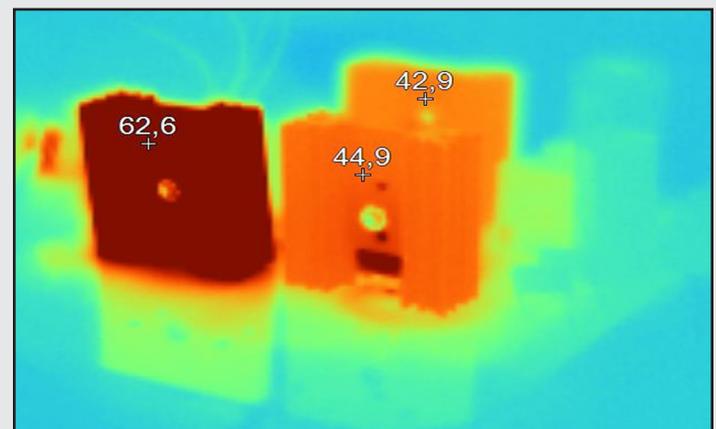


Figura 18. Esfuerzos térmicos debido a desbalance de corrientes.

Por otro lado, en la Figura 19, las temperaturas se encuentran muy idénticas en cada uno de los componentes, señal de una distribución de corriente equitativa. Las mediciones de temperatura se realizaron con ayuda de una cámara termográfica marca FLUKE modelo Ti10.

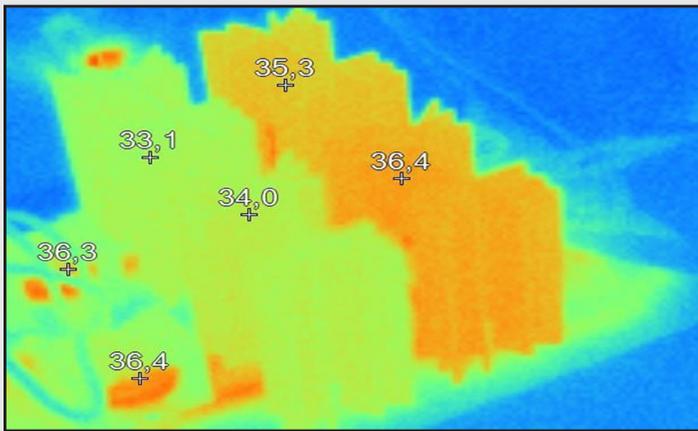


Figura 19. Comportamiento de la eficiencia ante diferente tipo de interruptor.

La Figura 20 muestra el comportamiento de la eficiencia del CBI ante diferentes tipos de transistor empleado. El transistor IRF640 es un transistor de tecnología HEXFET, el transistor 20N60S5 el cual es un transistor de tecnología COOLMOS y un transistor tipo IGBT. La Tabla 1 resume las características de cada interruptor evaluado.

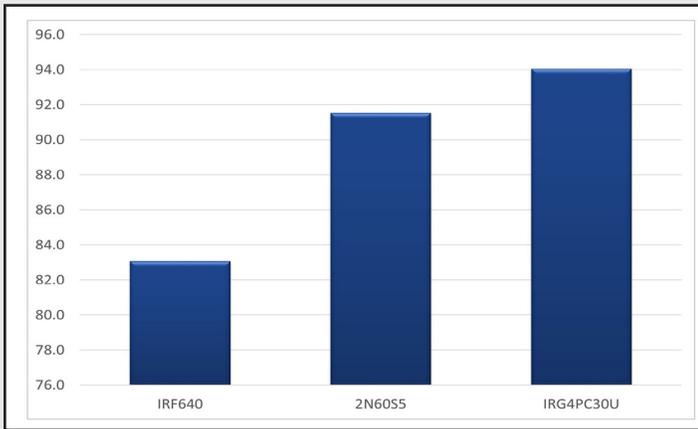


Figura 20. Comportamiento de la eficiencia ante diferente tipo de interruptor.

Tabla 1.- Especificaciones de interruptores

HEXFET	COOLMOS	IGBT
18A, 200V	20A, 650V	23A, 650V
$V_{SD}=1.3 V$	$V_{SD}=1 V$	$V_{CE(ON)}=1.95 V$
$r_{DS(ON)} = 0.15 \Omega$	$r_{DS(ON)} = 0.19 \Omega$	$P_D=100 W$
$P_D=150 W$	$P_D=208 W$	$t_r = 9.6 ns$
$t_r = 45 ns$	$t_r = 25 ns$	$t_r = 97 ns$
$t_f = 38 ns$	$t_f = 30 ns$	$C_{ISS} = 1100 pFd$
$C_{ISS} = 1160 pFd$	$C_{ISS} = 3000 pFd$	$R_{\theta JC} = 1.2 \text{ }^\circ C/W$
$R_{\theta JC} = 1 \text{ }^\circ C/W$	$R_{\theta JC} = 0.6 \text{ }^\circ C/W$	$R_{\theta JA} = 40 \text{ }^\circ C/W$
$R_{\theta JA} = 62 \text{ }^\circ C/W$	$R_{\theta JA} = 50 \text{ }^\circ C/W$	$R_{\theta CS} = 0.24 \text{ }^\circ C/W$
TO-220AB	TO-247	TO-247 AC

Puede notarse un mejor desempeño con el transistor tipo IGBT lográndose eficiencia de 94%. En la Figura 21 se muestran la forma de onda de corriente de entrada y voltaje en el inductor para los tres casos. En el caso del IGBT se tienen menores pérdidas de conmutación y de conducción resultando un convertidor con mayor eficiencia.

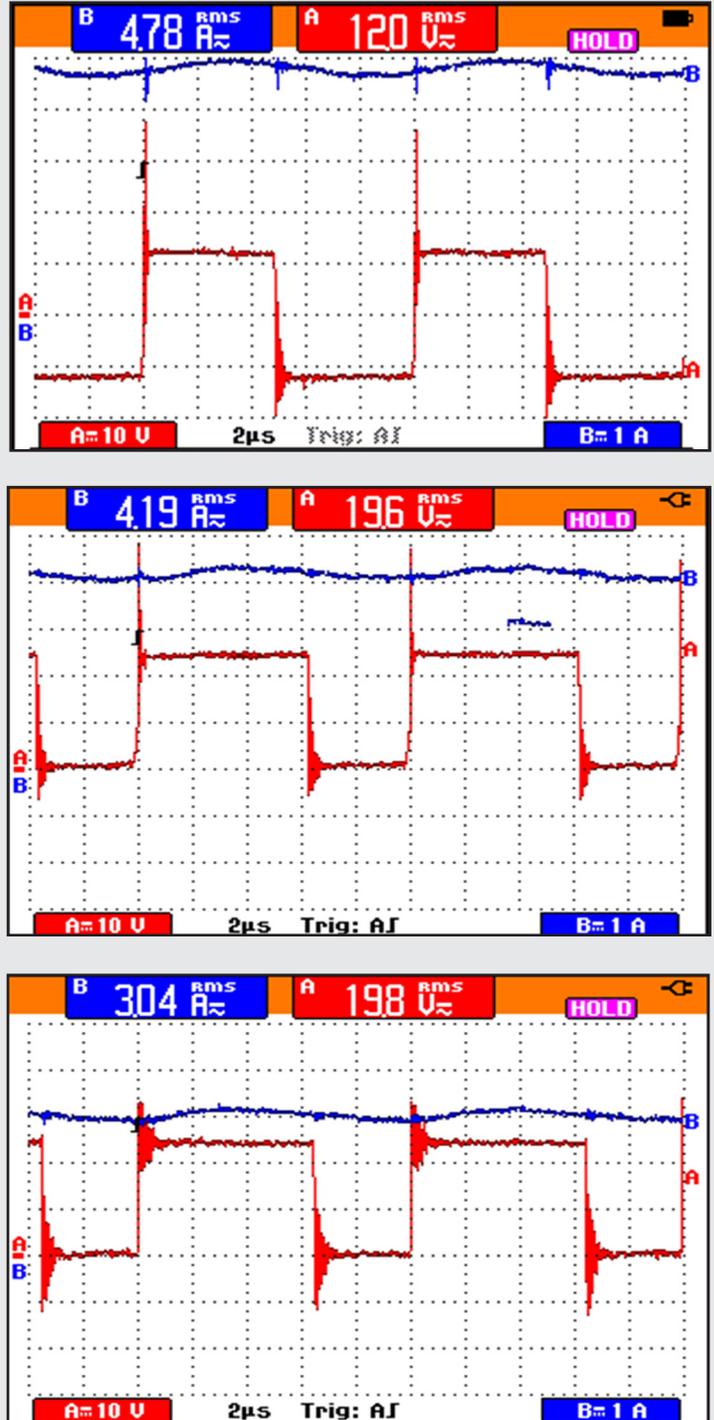


Figura 21. Pérdidas por conmutación y conducción de cada configuración....

- a) HEXFET,
- b) COOLMOS,
- c) IGBT

En la Figura 22 se presenta el comportamiento de la eficiencia ante modificaciones en la topología de potencia y el control. En el primer caso se verificó un convertidor Boost de etapa única, también se analizó un CBI con un control de pulso único para ambas ramas. La eficiencia aumentó de 83% a 88% al agregarle la rama al Boost. Finalmente se verificó un CBI con un control de pulso push-pull (desfase de 180° entre ramas) esto se reflejó en un aumento hasta 93%.



Figura 22 Eficiencia ante cambios en topología y control.

CONCLUSIONES

Existe una gran diversidad de topologías de potencia sugeridas como acondicionadores de energía para fuentes renovables. Cada configuración tiene características sobresalientes sobre otras, pero también conllevan algunas desventajas. Dependiendo del enfoque de diseño que se tenga es posible elegir alguna de ellas. En este trabajo se desarrolla un convertidor teniendo como enfoque principal la eficiencia y la confiabilidad. El CBI seleccionado permite obtener un nivel alto de eficiencia y al disminuir los esfuerzos tanto térmicos como eléctricos con lo que se tendría un incremento también en la confiabilidad.

El convertidor desarrollado puede ser empleado para diversas fuentes de energía tales como fotovoltaica, celdas de hidrogeno, eólica entre otras. Aunado al hecho de optimizar la eficiencia, el CBI puede conectarse en paralelo con otro convertidor manejando diversas fuentes e interconectándolas a un bus de CD regulado.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Z. Rehman, I. Al-Bahadly, and S. Mukhopadhyay, "Multiinput DC-DC converters in renewable energy applications-An overview," *Renew Sust Energ Rev*, vol. 41, pp. 521-539, 2015.

[2] S. Moury, J. Lam, V. Srivastava and R. Church, "A novel multi-input converter using soft-switched single-switch input modules with integrated power factor correction capability for hybrid renewable energy systems," 2016 IEEE Applied Power Elec-

tronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, 2016, pp. 786-793.

[3] Yaow-Ming Chen, Yuan-Chuan Liu and Feng-Yu Wu, "Multi-input DC/DC converter based on the multiwinding transformer for renewable energy applications," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 38, no. 4, pp. 1096-1104, Jul/Aug 2002.

[4] Y. C. Liu and Y. M. Chen, "A Systematic Approach to Synthesizing Multi-Input DC-DC Converters," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 1, pp. 116-127, Jan. 2009.

[5] J. A. N. D. Ang and R. R. D. Borja and R. S. C. Diaz and S. D. O. Samson and J. L. A. Sanchez and E. A. Roxas and J. M. B. Rocamora, "Development of a DC-DC converter with Current Mode Control for multi-source renewable energy harvesting system," 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Singapore, 2016, pp. 556-559.

[6] Y.-M. Chen, Y.-C. Liu, and S.-H. Lin, "Double-input PWM DC/DC converter for high-/low-voltage sources," *IEEE T Ind Electron*, vol. 53, pp. 1538-1545, 2006.

[7] B. G. Dobbs and P. L. Chapman, "A multiple-input DC-DC converter topology," *IEEE Power Electron Lett*, vol. 1, pp. 6-9, 2003.

[8] A. Khaligh, J. Cao, and Y.-J. Lee, "A multiple-input DC-DC converter topology," *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 24, pp. 862-868, 2009.

[9] K. P. Yalamanchili, M. Ferdowsi, and K. Corzine, "New double input DC-DC converters for automotive applications," in *IEEE VPPC*, 2006, pp. 1-6.

[10] M. Gavrıs, O. Cornea, and N. Muntean, "Multiple input DC-DC topologies in renewable energy systems-A general review," in *IEEE IN EXPRES*, , 2011, pp. 123-128.

[11] N. Vázquez, C. Hernández, and E. Vázquez, "A DC/DC converter for clean-energy applications," in *Clean Energy Systems and Experiences*, ed, 2010, p. 1.

[12] M. Jafari, G. Hunter, and J. G. Zhu, "A new topology of multi-input multi-output buck-boost DC-DC converter for microgrid applications," in *IEEE PCon*, 2012, pp. 286-291.

[13] S. Liu, X. Zhang, H. Guo, and J. Xie, "Multiport DC/DC Converter for stand-alone photovoltaic lighting system with battery storage," in *ICECE*, 2010, pp. 3894-3897.

[14] D. Yang, X. Ruan, Y. Li, and F. Liu, "Multiple-input full bridge dc/dc converter," in *IEEE ECCE*, 2009, pp. 2881-2888.

[15] Khosroshahi, M. Abapour and M. Sabahi, "Reliability Evaluation of Conventional and Interleaved DC-DC Boost Converters," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 10, pp. 5821-5828, Oct. 2015.

[16] D. Apablaza and J. Munoz, "Laboratory Implementation of a Boost Interleaved Converter for PV Applications," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 6, pp. 2738-2743, June 2016.

[17] J. R. Pinheiro, H. A. Grundling, D. L. R. Vidor and J. E. Baggio, "Control strategy of an interleaved boost power factor correction converter," *30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Record. (Cat. No.99CH36321)*, Charleston, SC, 1999, pp. 137-142 vol.1.

[18] Y. C. Hsieh, T. C. Hsueh and H. C. Yen, "An Interleaved Boost Converter With Zero-Voltage Transition," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 4, pp. 973-978, April 2009.

Ingeniantes



Ingeniantes

Revista de Investigación • Instituto Tecnológico Superior de Misantla