

*“DESAFÍO Académico - Tecnológico
para el Desarrollo Sustentable
de la INDUSTRIA”*



CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Mecánica



ISBN: 978-9942-8697-8-4



Dos mil diecisiete será el año recordado por la comunidad politécnica como el año en que la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo presentó, luego de 44 años de servicio educativo y una trayectoria de reconocimiento nacional, el evento denominado “I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA” dedicado a profesionales, docentes y estudiantes interesados en la temática “DESAFÍO ACADÉMICO – TECNOLÓGICO PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA INDUSTRIA”.

Con miras implantar un espacio para la presentación de la producción científica y tecnológica de nuestra planta docente y docente, perfeccionar los estándares de calidad que plantean los nuevos retos de la educación superior, así como establecer contextos de comunicación y colaboración con otras universidades nacionales e internacionales, los días 18, 19 y 20 de diciembre de 2017 se desarrolló el evento con connotado éxito; reuniendo a decenas de investigadores locales, nacionales e internacionales para presentar sus trabajos, investigaciones, proyectos y patentes en las siguientes temáticas: Desarrollo de nuevas tecnologías, Diseño y Gestión de la producción y manufactura, Emisiones contaminantes de la Industria, Formación empresarial y emprendimientos, Sistemas de gestión integrados, Materiales metálicos y no metálicos, Diseño de maquinaria y Eficiencia Energética.

Los conferencistas internacionales, provenientes de Hungría, México, Colombia, Alemania, a través de conferencias magistrales y mesas redondas presentaron sus aportes, en tanto que los conferencistas nacionales representaron a diferentes instituciones de educación superior como la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; Universidad Nacional de Chimborazo y de la propia ESPOCH. Los artículos presentados fueron evaluados con la revisión de pares ciegos de reconocida experiencia, siendo aceptadas 17 ponencias y 10 pósters científicos.

Finalmente, con la expresión de agradecimiento y reconocimiento a las autoridades institucionales por su total apoyo en la consecución de este evento científico, presentamos con mucho agrado los resultados obtenidos, a través del libro de memorias.

Carlos Santillán Mariño

DECANO FACULTAD DE MECÁNICA
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

1er Congreso Internacional de Ingeniería
"Desafío Académico – Tecnológico para el desarrollo sustentable de la industria"
Facultad de Mecánica
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente:

Gloria Elizabeth Miño Cascante. Ph.D

Vicepresidente:

Carlos José Santillán Mariño. MsC

Miembros:

Jhonny Marcelo Orozco Ramos. Mgs
Edwin Fernando Viteri Núñez. Mgs
Celin Abad Padilla Padilla. Mgs
Eduardo Francisco García Cabezas. Mgs
Juan Carlos Cayán Martínez. Mgs

COMITÉ CIENTÍFICO

Otto Fernando Balseca Sanpedro. Mgs
Javier Enrique Orna Chávez. Mgs
Néstor Alcibar Ulloa Auqui. Mgs
Lenin Santiago Orozco Cantos. Mgs
José Antonio Granizo Ph.D.
Luis Fernando Buenaño Moyano. Mgs
Eduardo Francisco García Cabezas. Mgs
Javier Gavilánez Carrión. Mgs
Carlos Oswaldo Serrano Aguiar. Mgs
Jhonny Marcelo Orozco Ramos. Mgs
Jorge Isaías Caicedo Reyes. Mgs
Mario Efrain Audelo Guevara. Mgs
Juan Rafael Pérez Pupo. Phd
Edwin Ángel Jácome. Mgs
Diego Fernando Mayorga Pérez. Mgs
Carlos José Santillán Mariño. Msc
Edwin Fernando Viteri Núñez. Mgs
Dalton Paul Orellana Quezada. Ph.D.
Paul Alejandro Montufar Paz. Mgs
Abel Polivio Remache Coyago. Mgs
Juan Carlos Rocha Hoyos. Mgs
Edilberto Antonio Llanes Cedeño. Ph.D
Celin Abad Padilla Padilla. Mgs
Bolívar Alejandro Cuaical Angulo. Mgs
Julio César Moyano Alulema. Mgs
Juan Carlos Cayán Martínez. Mgs

LIBRO DE MEMORIAS

Comité Editorial:

Carlos José Santillán Mariño. MsC
Jhonny Marcelo Orozco Ramos. Mgs
Edwin Fernando Viteri Núñez. Mgs
Celin Abad Padilla Padilla. Mgs
Eduardo Francisco García Cabezas. Mgs
Juan Carlos Cayán Martínez. Mgs

Diseño y Maquetación:

Juan Marcelo Ramos Flores, Mgs.

Impresión:

Editorial Pedagógica Freire

Fecha de publicación:

20 de julio de 2018

CONTACTO:

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Mecánica

Panamericana Sur, km 1 1/2
Telf.: +593 03 2998200 ext 3201
eMail: fmecanica@esPOCH.edu.ec
www.esPOCH.edu.ec

Riobamba - Ecuador

© 2018

ISBN: 978-9942-8697-8-4



ÍNDICE DE PONENCIAS

Desarrollo de un Prototipo de Máquina Limpiadora de Espinas de Tuna	1
<i>Aquino Arroba, S.M.; Altamirano Freire, J.A.; Pilco Núñez, M.V.; Viteri Núñez, E.F.</i>	
Control predictivo aplicado mediante un dispositivo programable en el laboratorio de curtiembre de la ESPOCH	12
<i>Repetto Paredes, J.C.; Yupangui Jaramillo, O.P.; Guerra Huilca, K.B.; Gutiérrez Álvarez, R.E.</i>	
Simulación cinemática, dinámica y de resistencia mecánica de un sistema de robots paralelos delta para rehabilitación de tobillo	23
<i>Pérez Bayas, M.; Novillo Andrade, G.; Zurita Meza, B.; Pérez Freire, A.</i>	
Análisis de inclusiones, microestructura y tamaño de grano en un acero AISI 1018	31
<i>Acosta Cajas, C.D.; Villavicencio Cevallos, J.C.</i>	
Desarrollo del control de trayectoria para un brazo robot de 5 GDL simulado y controlado por el MCU C2000 PICCOLO F28027F	38
<i>Vera Luzuriaga, J.G.; Zabala Aguiar, L.A.; Núñez Zavala, C.X.; Jácome Tinoco, J.R.</i>	
Selección de localización mediante MCGDM usando PajBorda y medidas de consenso. Selección de una nueva biorrefinería a partir de banano de rechazo.	47
<i>Vargas García, Y.; Pazmiño Sánchez, J.; Romero Gelvez, J.; Dávila Rincón, J.; Naranjo Vasco, J.</i>	
Análisis del diseño conceptual en planta mediante simulación de procesos estocásticos. Caso de estudio biorrefinería para piñón (<i>Jatropha curcas L.</i>)	53
<i>Pazmiño Sánchez, J.; Vargas García, Y.; Romero Gelvez, J.; Dávila Rincón, J.; Guamán Lozano, A.</i>	
Sistema de control para el posicionamiento del servomecanismo de una cámara dedicada a identificar vehículos infractores de semáforo mediante visión artificial	59
<i>Núñez Zavala, C.X.; Rodríguez Flores, J.A.; Zabala Aguiar, L.A.; Vera Luzuriaga, J.G.</i>	
Simulación del comportamiento estructural de un asiento de autobús para pruebas dinámicas.	72
<i>Pozo Safla, E.R.; Aquino Arroba, S.M.; Escobar Guachambala, M.A.; Ordóñez Viñán, M.A.; Choto Chariguamán, L.S.</i>	

Software para el cálculo de las pérdidas de potencia por fricción en elementos de máquina de las transmisiones mecánicas: FRIX-2016	82
<i>Navarro Ojeda, M.N.; Fernández Vega, Y.; Navarro Santana, M.; Pérez Pupo, R.; Pérez Guerrero, J.N.</i>	
Fabricación e inspección de tanques de presión bajo la Norma ASME	92
<i>Calderón Freire, E.; Villacrés Parra, S.; Viscaino Cuzco, M.; Gallegos Londoño C.</i>	
Parametrización de una turbina de flujo axial acoplada a una bomba de alta presión	99
<i>Ordóñez Viñán, M.A.; Aquino Arroba, S.M.; Pozo Safla, E.R.; Choto Chariguamán, L.S.; Escobar Guachambala, M.A.</i>	
Estudio de las pérdidas de energía en conductores eléctricos mediante termografía infrarroja	106
<i>Hernández Dávila, E.S.; Cajamarca Villa, J.E.; Redrobán Dillon, C.D.; Valverde González, V.L.; Guilcapi Mosquera, J.R.</i>	
Inspección de parámetros de mantenimiento y operativos estandarizados de equipo caminero en el poliducto Cuenca-Pascuales.	113
<i>Nuela Sevilla, S.E.; Tenicota García, A.G.; Larrea Moreano, A.D.; Guamán Reinoso, C.H.; Guilcapi Mosquera, J.R.</i>	
Diseño e implementación de un brazo robótico industrial con 5 grados de libertad guiado por Kinect	121
<i>Ricaurte Segovia, A.; Minda Valverde, I.R.; Gavilanes Carrión, J.</i>	
Tiempos estándar en el gemba del calzado deportivo de microempresas del cantón Ambato	129
<i>Miño Cascante, G.E.; Moyano Alulema, J.C.; García Flores, A.N.; Guamán Lozano, A.G.</i>	
Gestión de inventarios en microempresas del sector textil para toma de decisiones	138
<i>García Flores, A.N.; Miño Cascante, G.E.; Moyano Alulema, J.C.; Guamán Lozano, A.G.; Naranjo Vargas, E.M.</i>	
Evaluación computacional de la mangueta del vehículo fórmula SAE	148
<i>Barrera Cárdenas, O.; Padilla Padilla C.; Rocha Hoyos, J.; Llanes Cedeño, E.; Buenaño Moyano, Luis.</i>	
Parámetros característicos del motor de combustión interna con el uso de combustibles comerciales en Ecuador	159
<i>Erazo Laverde, W.; Quiroz Erazo, L.; Quimbíta, A.; Guallichico, X.; Quiroz Erazo, J.</i>	
Diseño, construcción e instalación de un alcoholímetro electrónico con dispositivo de bloqueo en un vehículo	168
<i>Buenaño Moyano, L.F.; Cuaical Angulo B.A.; Moreno Pinduisaca, L.E.; Casanova Vásquez, M.P.; Padilla Padilla, C.A.</i>	
Análisis de las emisiones y opacidad al inyectar hidrógeno en proporciones en el motor diésel	176
<i>Erazo Laverde, G.; Jara Martínez, J.; Cevallos Carvajal, A.; Quiroz Erazo, L.; Borja Soto, D.</i>	

Análisis del flujo de aire acondicionado en el habitáculo del vehículo Ford escape híbrido mediante elementos finitos	184
<i>Paucar Jarrín, H.; Erazo Laverde, W.G.; Quiroz Erazo, L.; Yupa Loja, V.; Zambrano León, D.</i>	
Análisis de la autonomía eléctrica entre el vehículo híbrido estándar y un vehículo enchufable	191
<i>Erazo Laverde, G.; Naranjo Tipán, L.; Corral Díaz, A.; Quiroz Erazo, J.; Moreno Constante, A.</i>	
Control del motor generador trifásico del vehículo híbrido con el inversor integrado	197
<i>Quiroz Erazo, L.; Paucar Jarrín, H.; Erazo Laverde, W.G.; Quiroz Erazo, J.; Yupa, V.A.</i>	
Gestión de riesgos físicos, mecánicos y ergonómicos en los talleres automotrices del Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Riobamba	204
<i>Serrano Aguiar, C.O.; Cayán Martínez, J.C.; Miño Cascante, G.E.; Orozco Ramos, J.M.; García Cabezas, E.F.</i>	
Análisis ergonómico de los vaqueros durante la extracción de leche en la Estación Experimental Tunshi-ESPOCH y mejoras mediante la automatización	211
<i>García Cabezas, E.; Santillán Mariño, C.; Ordóñez Berrones, S.; Dávila Molina, F.; Orozco Ramos, J.M.</i>	
Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresas aplicando métodos del diseño mecánico	218
<i>López Ortiz, S.; Caicedo Reyes, I.; Payasco Paguay, M.</i>	

LISTA ALFABÉTICA DE AUTORES

Acosta Cajas, Christopher
Altamirano Freire, Jorge
Aquino Arroba, Miguel
Barrera Cárdenas, Olga
Borja Soto, Darío
Buenaño Moyano, Luis F.
Caicedo Reyes, Isaías
Cajamarca Villa, Julio
Calderón Freire, Edison
Casanova Vásquez, María P.
Cayán Martínez, Juan Carlos
Cevallos Carvajal, Alex
Choto Chariguamán, Luis
Corral Díaz, Alexandra
Cuaical Angulo, Bolívar A.
Dávila Molina, Franklin
Dávila Rincón, Javier
Erazo Laverde, Washington Germán
Escobar Guachambala, Miguel
Fernández Vega, Yaniel
Gallegos Londoño, César
García Cabezas, Eduardo Francisco
García Flores, Alcides Napoleón
Gavilanes Carrión, Javier
Guallichico Suntasig, Xavier
Guamán Lozano, Ángel Geovanny
Guerra Huilca, Karla B.
Guilcapi Mosquera, Jaime
Gutiérrez Álvarez, Raúl E.
Hernández Dávila, Eduardo
Jácome Tinoco, Jairo
Jara Martínez, Jhon
Larrea Moreano, Ángel
Llanes Cedeño, Edilberto
López Ortiz, Santiago
Minda Valverde, Israel Rigoberto
Miño Cascante, Gloria Elizabeth
Moreno Constante, Andrés
Moreno Pinduisaca, Ligia E.
Moyano Alulema, Julio César
Naranjo Tipán, Luis
Naranjo Vargas, Eugenia Mercedes
Naranjo Vasco, Javier
Navarro Ojeda, Marcelo N.
Navarro Santana, Marcell
Novillo Andrade, Geovanny
Nuela Sevilla, Stalin
Núñez Zavala, Christiam
Ordóñez Berrones, Silvio
Ordóñez Viñán, Marco
Orozco Ramos, Jhonny Marcelo
Padilla Padilla, Celín
Paucar Jarrín, Henry
Payasco Paguay, Marco
Pazmiño Sánchez, Joffre
Pérez Bayas, Miguel
Pérez Freire, Alex
Pérez Guerrero, Julio N.
Pérez Pupo, Rafael
Pilco Núñez, Marco
Pozo Safla, Edwin
Quimbita Panchi, Adriana
Quiroz Erazo, José
Quiroz Erazo, Leonidas
Redrobán Dillon, Cristian
Repetto Paredes, Juan C.
Ricaurte Segovia, Alex Fernando
Rocha Hoyos, Juan
Rodríguez Flores, Jesús
Romero Gelvez, Jorge
Santillán Mariño, Carlos
Serrano Aguiar, Carlos Oswaldo
Tenicota García, Alex
Valverde González, Vanessa
Vargas García, Yadira
Vera Luzuriaga, John
Villacrés Parra, Sergio
Villavicencio Cevallos, Julio
Viscaíno Cuzco, Mayra
Viteri Núñez, Edwin
Yupa Loja, Víctor Alfonso
Yupangui Jaramillo, Omar P.
Zabala Aguiar, Luis
Zambrano León, Danilo
Zurita Meza, Byron

Desarrollo de un Prototipo de Máquina Limpiadora de Espinas de Tuna

Aquino Miguel ¹, Altamirano Jorge ¹, Pilco Marco ¹, Viteri Edwin ¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.

s_migue4770@hotmail.com, jorgealtamirano77@hotmail.com, soyvini14@hotmail.com, eviterin@yahoo.com

Resumen

La opuntia o tuna es un fruto de forma ovalada, varios tipos son comestibles y nutricionalmente posee calcio, hierro y mucha vitamina C. La superficie de la tuna está cubierta por finas espinas, para la comercialización de esta fruta es necesario la remoción de espinas evitando el daño superficial del producto que podría contaminarlo y producir el daño de la fruta. Existen varios métodos para la limpieza de la tuna, sin embargo, muchos de ellos son lentos o pueden causar ligeros daños en las personas que realizan la limpieza, para solucionar este problema se plantea generar un prototipo de máquina compuesta por partes mecánicas, eléctricas y/o electrónicas, para lo cual aplica metodologías de diseño concurrente combinadas con principios matemáticos que garanticen que la máquina desarrollada cumpla con los requerimientos establecidos. Las pruebas muestran que la metodología del diseño concurrente permitió obtener un equipo de alta calidad que es capaz de realizar la limpieza de 20 tunas por minuto, con eficiencias de limpieza del 100% para tunas gran y mediano tamaño y una eficiencia del 90% para las tunas de pequeño tamaño.

Palabras Claves

Ingeniería mecánica, maquinaria agrícola, sistemas mecánicos, transmisión de potencia mecánica, agricultura.

Abstract

The tuna is a fruit of oval form, several types are comestible and very nutritional, the tuna has calcium, iron and much C vitamin. The surface of a tuna is covered by thin thorns, for the commercialization of this fruit is necessary the removal that thorns avoiding the surface damage of the product. There are several methods for the tuna cleaning, however, many of them are slow or can cause slight damage in the people who do the cleaning, to solve this problem it is proposed to generate a prototype of machine composed by mechanical parts, electrical and / or electronic, in order to achieve this kind of machine is necessary the use of methodologies and mathematical principles, they guarantee the proper functioning of the machine. The tests show that the designed, constructed and tested equipment is capable of cleaning 20 tunas per minute, with 100% cleaning efficiencies for big and medium size tunas and 90% efficiency for small size tunas.

Index Terms

Mechanical engineering, agricultural machinery, mechanical systems, mechanical power transmission, agricultural.

I. INTRODUCCIÓN

SEGÚN la revista Americana de Botánica se plantea que la “Opuntia conocida como tuna es una planta de la familia de las cactáceas”, la mayoría de plantas de este género tiene tallos capaces de ramificarse formando hojas similares a una raqueta de tenis, cubiertas por diminutas espinas, emitiendo flores y frutos. El fruto tiene una cáscara gruesa, espinosa, y con una pulpa abundante en pepas o semillas. El fruto maduro es de forma ovalada con diámetros de entre 5,5 y 7 cm, una longitud de 5 cm a 11 cm y un peso variable entre 43 y 220 gramos. La tuna es una planta originaria de América. México con más de 20 especies es el país que tiene más variedades. De ellas 12 son comestibles y comerciales. La tuna posee calcio, hierro y mucha vitamina C, proporcionando beneficios en el cuerpo humano como evitar la bilis, reduce el colesterol, cura la diarrea y otras (Griffith, 2004)

La remoción de espinas es el proceso por medio del cual se separa las espinas de la superficie del fruto sin producir daños a dicha superficie ya que estos contaminan el producto, al contaminarse el producto los microorganismos acortan la vida útil del producto perdiéndose el sabor y propiedades nutritivas, se ha demostrado que la remoción de espinas puede realizarse friccionando el producto con elementos suaves como escobas, mallas o paños de algodón, una vez eliminadas las espinas el producto puede ser consumido o procesado con facilidad.

Se propone el desarrollo de una máquina para la limpieza de la tuna que sea capaz de generar una alta rapidez de producción y brinde seguridad a los operadores, de acuerdo con Riba et al. (2000) el diseño de un producto posee cuatro etapas. En la primera etapa se definen las características técnicas de la máquina para poder satisfacer las condiciones de trabajo requeridas. En la segunda etapa se analizan modelos de máquinas y/o mecanismos mecánicos que puedan realizar la limpieza de la tuna, determinándose el equipo más adecuado. (Ullman, 2015). En la tercera etapa se establecen los elementos que componen la máquina, determinándose dimensiones y materiales de acuerdo a las características del trabajo que debe realizar. En la cuarta etapa se desarrolla los planos y documentos para la construcción del equipo, debiendo cada una de las partes de equipo ser de fácil manufactura, ensamble y desensamble. (Riba, 2002)

El desarrollo del proyecto permite establecer la importancia de seguir una metodología de diseño para definir las condiciones de trabajo del equipo y que permitan concluir con la construcción de un equipo que satisfaga una necesidad específica. (Budynas y Nisbett, 2008). La máquina limpiadora de tunas una vez construida a mostrado ser un producto funcional, confiable, competitivo, útil.

A. Preguntas de investigación

¿Cómo debe ser el proceso de limpieza de tunas por medio de una maquina?

¿Qué principios y leyes deben ser aplicados en el diseño de un prototipo de máquina limpiadora de tunas?

¿Para qué tamaños de tunas la limpieza por medio de un equipo será más eficiente?

B. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de máquina limpiadora de espinas de tuna.

C. Objetivos específicos

Analizar las propiedades físicas y mecánicas de la tuna, con la finalidad de tener parámetros para el estudio de la remoción de espinas.

Estudiar varios modelos de equipos que permitan un proceso de limpieza de la tuna eficiente.

Aplicar leyes y principios para generar el diseño de un prototipo de máquina que permita limpiar espinas de la tuna.

II. METODOLOGÍA

El diseño de la máquina limpiadora se desarrolla en base a herramientas propuestas por la teoría del diseño concurrente, la aplicación de esta metodología da las pautas para lograr un diseño óptimo reduciendo las demoras y fallos en el proceso constructivo. La aplicación de esta metodología se puede conseguir con cuatro pasos que son la definición del producto, diseño conceptual, diseño de materialización, diseño de detalle y proceso constructivo.

A. Definición del producto

La definición del producto permite establecer las características técnicas de la máquina partiendo del

requerimiento del usuario. Uno de los métodos que han demostrado mayor eficacia en esta actividad es el desarrollo de la función de calidad QFD que parte de las demandas o requerimientos propuestos por el agricultor (voz del usuario) en base a las que se determinan características técnicas de la máquina (voz del ingeniero), estas especificaciones técnicas deben medibles o fácilmente verificables. La matriz QFD permite establecer las características de la máquina y también establecer un orden de prioridad de las mismas. En la figura 1 por medio de encuestas a personas dedicadas al cultivo de la tuna se han establecido 11 requerimientos de la máquina que ha de las cuales se ha establecido 13 características técnicas o ingenieriles que debe poseer la máquina.

funcional permite estudiar cada uno de los procesos que debe producirse en la máquina para generar la limpieza de las espinas, este estudio permite encontrar varias posibles soluciones al problema. En la figura 1 se muestra el análisis funcional en un nivel básico.

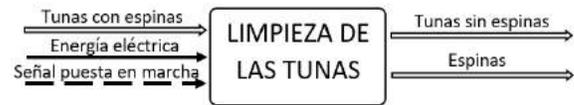


Fig. 2. Análisis Funcional – Nivel 1

La figura 3 muestra un análisis funcional en nivel 2 donde se detalla cada una de las funciones que debe cumplir la máquina.

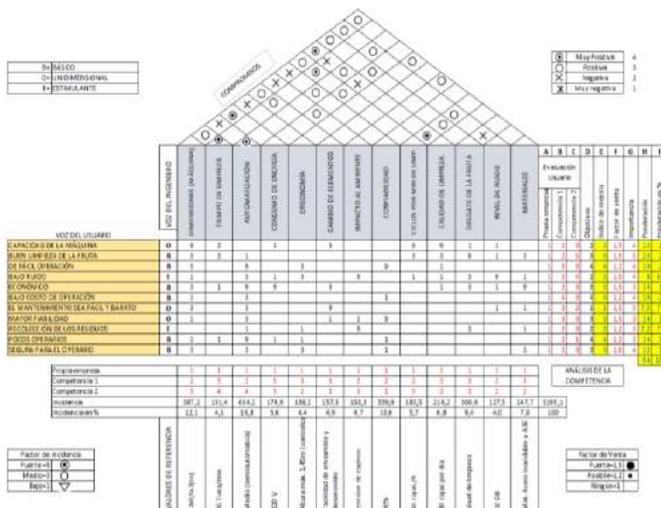


Fig. 1. Matriz QFD del prototipo de máquina limpiadora de espinas de tuna.

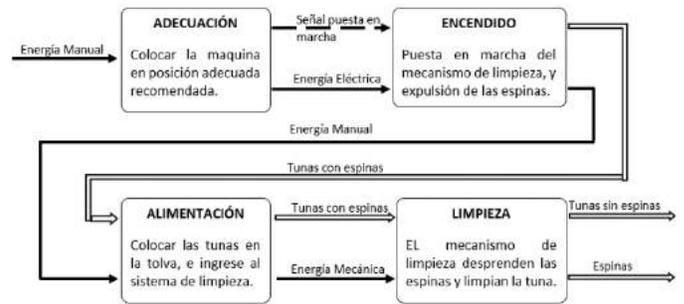


Fig. 3. Análisis Funcional – Nivel 2

De la matriz QDF al realizarse cálculos ponderados se puede establecer el orden de prioridad de los parámetros necesarios en el diseño y construcción de la máquina los que se resumen en la Tabla 1.

En la figura 4 se da solución a cada uno de los módulos generados en el análisis funcional nivel 2, determinándose tres opciones de máquinas que pueden dar solución al problema como se muestra en las figuras 5, 6 y 7.

TABLA I
PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA

Especificación	Valor
Autonomía	4 horas de trabajo
Dimensiones	2,9m L.; 1.16m H; 0,6m A.
Peso	130 Kg.
Entrada de voltaje	220 V.
Material	Acero Inoxidable
Capacidad	2000Tunas/hora

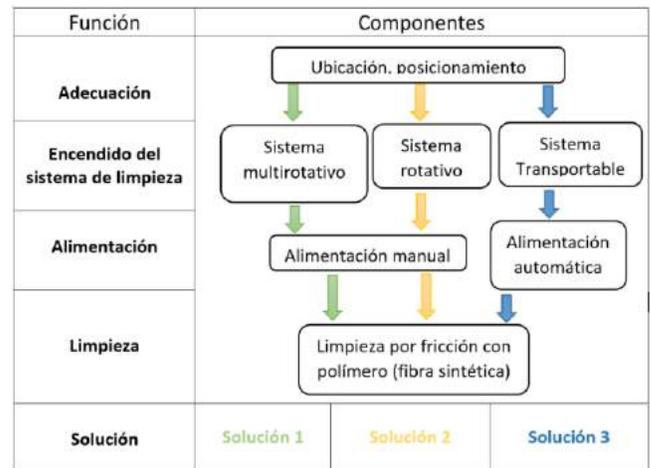


Fig. 4. Alternativas de solución para el análisis funcional nivel 2.

B. Diseño conceptual

Luego de definir las características técnicas de la máquina, se realiza el análisis conceptual de la máquina tomando en cuenta dichas características, el análisis

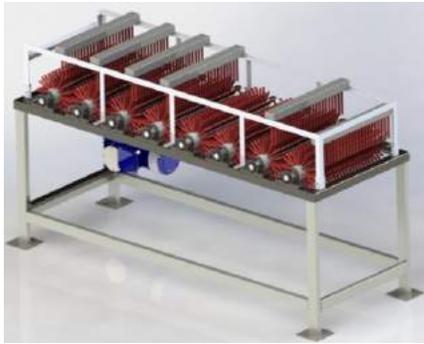


Fig. 5. Solución 1, máquina limpiadora compuesta por un conjunto de rodillos limpiadores, formando cepillos limpiadores cilíndricos en la parte inferior y rectangulares en la parte superior.



Fig. 6. Solución 2, máquina limpiadora compuesta por una banda transportadora liza y la limpieza lo realiza un conjunto de cepillos rectangulares al ser transportada la tuna por la banda transportadora.

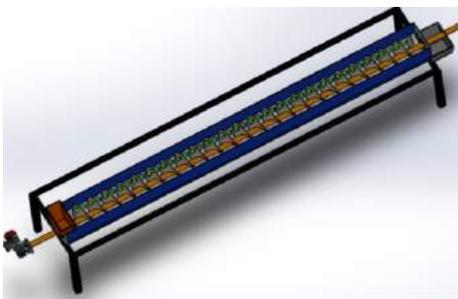


Fig. 7. Solución 3, máquina limpiadora compuesta por un cilindro hueco, en su interior lleva un tornillo sin fin, en el cual se han acoplado cerdas poliméricas para que al momento de girar se traslade retirando las espinas de la tuna a la vez que la lleva hacia un agujero para caer en un depósito.

En la tabla III se aplica el método de criterios ponderados utilizando las características técnicas de la máquina más importantes determinándose la opción más adecuada de acuerdo a las especificaciones requeridas incluyendo costo, manufactura y ensamblaje.

TABLA II
MÉTODO DE CRITERIOS PONDERADOS PARA PRIORIZAR LAS SOLUCIONES.

	Producción (Kg/h)	Confiabilidad del equipo	Nivel de automatización.	Calidad de limpieza.	Σ	Pond.
Solución 1	0,10	0,10	0,06	0,10	0,36	1
Solución 2	0,08	0,08	0,05	0,08	0,29	3
Solución 3	0,10	0,10	0,06	0,08	0,34	2

C. Diseño de materialización

La opción 1 mostrando en la figura 5 (máquina de sistema rodillos) demuestra ser la opción que cumple con todos los requerimientos técnicos que satisfacen las condiciones requeridas para la limpieza de la fruta. Esta máquina está constituida por una estructura que soporta el sistema de limpieza que está formado por un conjunto de cepillos en forma de rodillo y cepillos rectangulares, un conjunto de transmisión por cadenas en serie conectadas a rodillos permitiendo el giro de todos los rodillos una misma velocidad, los rodillos son accionados por un motor-reductor. Los materiales con que están en contacto con las tunas como son los cepillos serán de cerdas poliméricas adecuadas para el manejo de productos alimenticios. La tabla 2 detalla los elementos constitutivos del equipo.

TABLA III
ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA OPCIÓN MÁS ADECUADA DE CONSTRUCCIÓN.

Esquema	Nombre
	1. Estructura.
	2. Tolva de alimentación.
	3. Tolva de salida.
	4. Tolva recolectora de espinas.
	5. Motor eléctrico.
	6. Sistema de transmisión.
	7. Cepillos de limpieza.
	8. Eje.
	9. Chumacera.
	10. Bocín.
	11. Pernos de ajuste.
	12. Catalina para cadena.

Para realizar el diseño de cada una de las partes de la máquina partimos determinado estadísticamente los datos dimensionales máximos de la tuna (las muestras tomadas pertenecen a tunas cultivadas en la provincia de Tungurahua y Chimborazo) para lo cual se utiliza la ecuación (1).

$$n = \frac{K^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + (K^2 * p * q)} \tag{1}$$

Donde:

- N* es el tamaño de la población o universo (100 tunas).
- K* es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos (1.44 con 85% de confianza).
- e* es el error muestra deseado (5.9%).
- p* es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0.5$ que es la opción más segura.
- q* es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.
- n* es el tamaño de la muestra.

Los resultados de los datos estadísticos se resumen en la tabla IV.

TABLA IV
DATOS ESTADÍSTICOS DE TAMAÑOS DE TUNA.

	Peso(gr)	Ancho (mm)	Longitud(mm)
Grande	185	68	100
Mediana	121	54	86
Pequeña	102	51	84

El diseño de la máquina requiere de establecer parámetros iniciales de diseño como es la fuerza y velocidad de limpieza, para determinar estas se deben generar los cepillos se toma varios datos experimentales basados en una limpieza manual por medio de cepillos o escobas como se muestra en la figura 8.



Fig. 8. (a) Ensayo de limpieza de la tuna para determinar la velocidad de limpieza, la velocidad se determina estableciendo una distancia de desplazamiento del cepillo constante y se mide el tiempo. (b) Ensayo para determinar la fuerza de fricción que es capaz de realizar la eliminación de espinas.

Los resultados de la experimentación se recompilan en las tablas V y VI.

TABLA V
MEDICIONES DE VELOCIDAD DE LIMPIEZA DE FORMA MANUAL.

Medición	Espacio(m)	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)
1	0.5	0,57	0.87
2	0.5	0,59	0.85
3	0.5	0,60	0.84
4	0.5	0,59	0.85
5	1	0,63	1,60
6	1	0,62	1,61
7	1	0,61	1,65
8	1	0.62	1.62
-----	Promedio	0,60	-----

TABLA VI
FUERZA DE FRICCIÓN PARA LIMPIEZA DE FORMA MANUAL.

Medición	Fuerza (N)
1	0.078
2	0.076
3	0.073
4	0.075
5	0.076
6	0.073
Promedio	0.075

La figura 9 y 10 muestran la distribución de las tunas con lo cual se determina las dimensiones de los rodillos. Cada rodillo será capaz de alojar 25 tunas de tamaño grande, generándose una fuerza promedio total en cada rodillo de 3.75 Kgf.

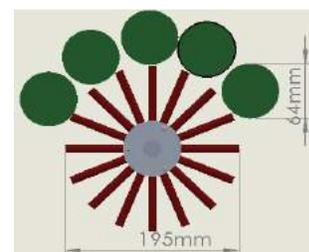


Fig. 9. Vista de sección en la que se muestra la distribución de la tuna en cada rodillo, de acuerdo a las dimensiones de los rodillos limpiadores y las dimensiones máximas de la tuna cada rodillo aloja máximo 5 hileras de tunas.

Al analizar la mejor opción para la ubicación de las cerdas de limpieza de las tunas se establece que la configuración mostrada por la figura 10 es capaz de limpiar sin dejar zonas que no lleguen a ser limpiadas y sin dañar el producto.

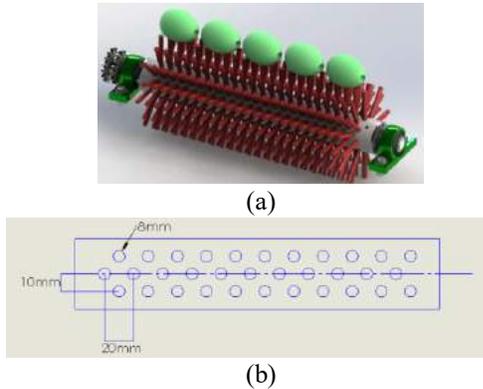


Fig. 10. (a) Distribución longitudinal de la tuna en cada rodillo de limpieza, tomando en cuenta la figura 9 cada rodillo será capacidad de alojar máximo 25 tunas. (b) Distribución de agujeros para lograr la mayor superficie de contacto con la tuna.

En base a estos parámetros se puede establecer la potencia mecánica necesaria para mover el sistema de rodillos incluyendo el peso de las tunas a la máxima capacidad lo cual agrupa la ecuación 2.

$$P_{max} = (F_{aceleracion} + F_{fricción})V_{max} + (T_{aceleración})W_{max} \quad (2)$$

Donde:

- P_{max} : Potencia mecánica máxima
- $F_{aceleracion}$: Fuerza
- $F_{fricción}$: Fuerza de fricción hallada experimentalmente
- V_{max} : Velocidad lineal hallada experimentalmente
- $T_{aceleración}$: Torque para vencer las inercias de los elementos
- W_{max} : Velocidad angular máxima

El movimiento de los rodillos se acciona por medio de un motor con caja reductora y de una reducción de velocidad por medio de cadena hasta el primer rodillo de limpieza como se puede observar en la figura 11.

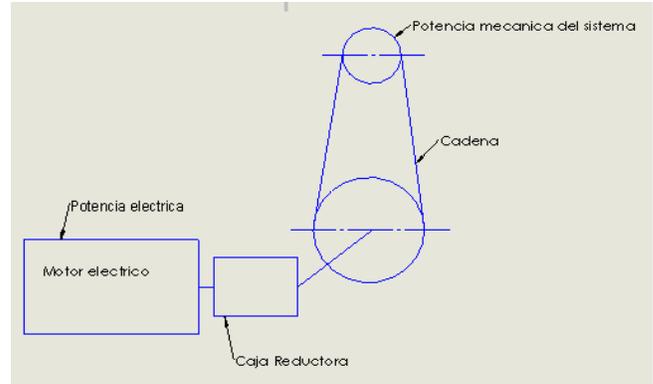


Fig. 11. Esquema de transmisión de potencia hasta los rodillos de limpieza, la potencia se transmite desde un motor con caja reductora, de donde se transmite la potencia por medio de una cadena al primer rodillo.

La determinación de la potencia es de gran utilidad para la selección de las cadenas de transmisión de potencia. Al tener los datos de las cadenas por medio de los catálogos se determina las fuerzas que produce la transmisión con la ecuación 3.

$$F = \frac{Pot}{v} \quad (3)$$

Donde:

- F Fuerza de la cadena
- Pot Potencia transmitida
- v Velocidad lineal de la cadena

Conocidas las fuerzas desarrolladas por la cadena, pesos de rodillos, pesos de frutas y potencia del motor-reductor se determina los diagramas de cuerpo libre para el diseño de los ejes que se indican en las figuras 12 y 13.

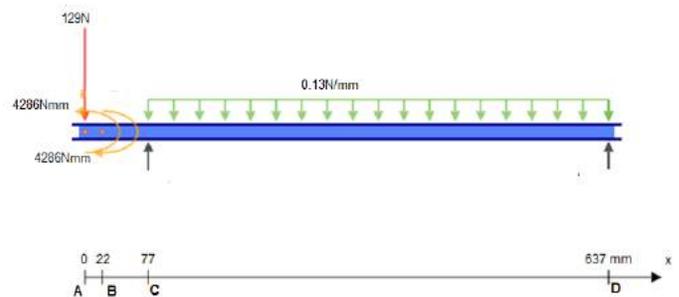


Fig. 12. Diagrama de cuerpo libre del eje más crítico en el plano XY.

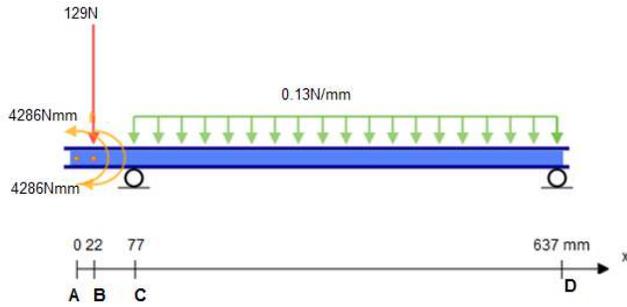


Fig. 13. Diagrama de cuerpo libre del eje más crítico en el plano XZ.

Según (Budynas y Nisbett, 2008) en el caso de un eje giratorio, el momento flexionante constante creará un esfuerzo flexionante completamente reversible siendo aplicable la ecuación 4.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (4)$$

Dónde:

- n Factor de seguridad
- K_f Factor de concentración de esfuerzos por fatiga a flexión
- K_{fs} Factor de concentración de esfuerzos por fatiga a torsión

La ecuación anterior permite determinar el diámetro tentativo del eje, para una segunda iteración se aplica el criterio de Soderberg de la ecuación 5 (Norton, 2005).

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

Dónde:

- σ_a Esfuerzo equivalente de amplitud
- σ_m Esfuerzo equivalente medio
- S_e Límite de resistencia a la fatiga
- S_y Límite de fluencia del material
- n Factor de seguridad

El rodillo limpiador es un ensamble de soportes metálicos y un eje hueco de PVC por tanto para una mejor verificación en los puntos más críticos se utiliza el software Ansys que aplica el método de elemento finito para predecir el comportamiento de un elemento mecánico. Para el diseño estructural se utiliza el software SAP 2000

tomando en cuenta los datos que se muestran en las tablas VII y VIII y la configuración geométrica mostrada en la figura 14.

TABLA VII
PERFILES ESTRUCTURALES SELECCIONADOS PARA CONSTRUIR LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.

Parte estructural	Perfil estructural
Estructura base	ASTM A-500 Galvanizado/Perfil rectangular 25x50x1.5
Estructura superior	ASTM A-36 /Perfil angular AL 25X3
Base del motor	ASTM A-36 /Perfil angular AL 40X4
Soporte de cepillos rectangulares	ASTM A-36 /Perfil TEE 25X3

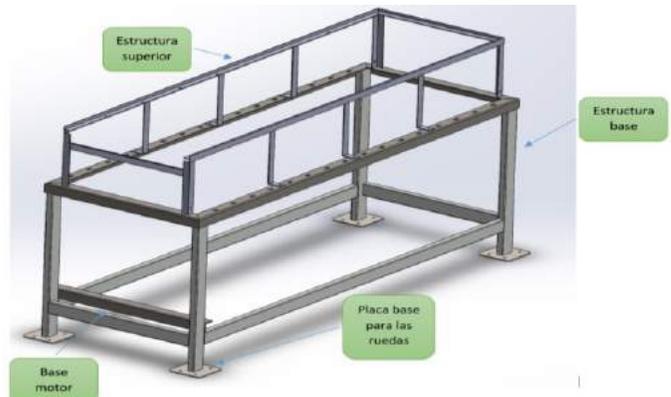


Fig. 14. Configuración de la estructura de la máquina, en la estructura se alojan todos los elementos constitutivos de la máquina.

TABLA VIII
CARGAS SOPORTADAS POR LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.

Cargas	Elementos	Peso (Kg)	Carga (N)
Muertas	Cepillos circulares	38	372,4
	Cepillos rectangulares	4	39,2
	Tolva de entrada de frutos	7	68,6
	Tolva de salida de frutos	9	88,2
	Tolva de salida de espinas	14	137,2
	Motor	20	196
	Cadena	4	39,2
	Tapa	14	137,2
EJE			
Vivas	Rcy		183
	Rdy		19
	Rcz		178
	Rcz		24

En base a las fuerzas establecidas es factible la selección de elementos mecánicos como chumaceras, chavetas, tuercas, etc. La tolva de alimentación y salida de tunas, la tolva de desfogue de espinas se las construye tomando en cuenta que las inclinaciones sean las adecuadas sin considerar un diseño por resistencia mecánica debido a que los cargas que soportan son muy bajas, esto se puede ver en las figuras 15 y 16.

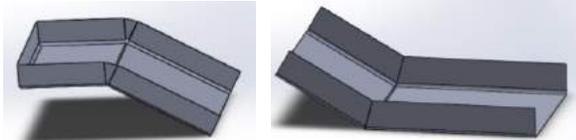


Fig. 15. Configuración geométrica de tolvas de alimentación y salida de las tunas.

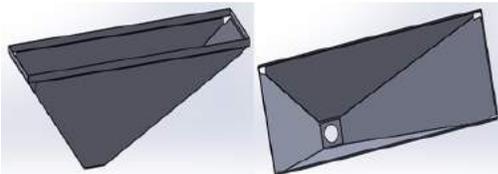


Fig. 16. Configuración geométrica de la tolva de desfogue de espinas.

En los cepillos se pueden acumular de espinas, por lo tanto, es necesario de una forma de remover estas espinas, se elige tener un flujo de aire con ventilación para que las espinas sean expulsadas a la tolva de extracción de espinas y luego esta expulse a un recipiente. Se selecciona un ventilador de altas revoluciones para tener el flujo necesario que expulse las espinas para lo cual se hace uso de la ecuación 6.

$$Q = \frac{V * w}{3600} \tag{6}$$

Dónde:

- Q Caudal volumétrico de aire requerido
- V Volumen de la cámara
- w Velocidad angular del ventilador

D. Diseño de detalle y proceso constructivo

Una vez diseñado y/o seleccionado cada uno de los elementos constitutivos de la máquina se desarrollan planos de construcción con la ayuda del software SolidWorks, estos planos permiten planificar el proceso constructivo agrupándolos en subsistemas de acuerdo con la tabla IX.

TABLA IX
DIVISIÓN EN SISTEMAS PARA REALIZAR EL PROCESO CONSTRUCTIVO.

Sistemas	Esquema
Sistema estructural	
Sistema de entrada, salida de las tunas y expulsión de las espinas.	
Sistema motriz	
Sistema eléctrico	

En la figura 17 se muestra el prototipo de la máquina construida y probada.



Fig. 17. Prototipo de máquina limpiadora de espinas de tuna.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para asegurar una correcta limpieza de las espinas de la tuna se utiliza pequeños cepillos rectangulares colocados en la parte superior como ilustra la figura 20.

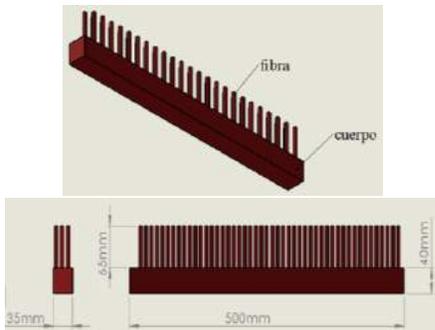


Fig. 18. Configuración geométrica del cepillo limpiador rectangular.

Luego de realizar experimentos con varias fibras se determinó que las fibras de nylon con un diámetro 0.45mm poseen las características de ser elásticas y resistentes que las hacen adecuadas para la máquina en diseñada.

Se ha determinado que para lograr una limpieza optima la colocación de las fibras o cerdas limpiadoras debe ser de forma escalonada con 44 filas y 16 columnas que se ubican alrededor de un cilindro de 65 mm de diámetro que se muestra en la figura 21.

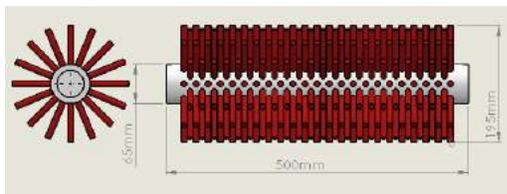


Fig. 19. Configuración geométrica del cepillo limpiador cilíndrico.

A partir de la velocidad lineal promedio hallada experimentalmente de 0.6 m/s se puede calcular la velocidad de rotación de los rodillos que es de 60 rpm y una aceleración de 300 mm/seg² tomando un tiempo de arranque del motor de 2s. Luego de realizar los cálculos que agrupa la inercia de los elementos, velocidades y aceleraciones se determinó que es necesario un motor con una potencia mínima de 0.53 HP.

Según la ecuación de Soderberg con la que se realiza el diseño a fatiga de los ejes que contienen los rodillos de limpieza se determina que estos están trabajando con un factor de seguridad de 7 pero este análisis fue realizado sin tomar en cuenta que el rodillo de limpieza está formado por el cilindro de PVC y los soportes de acero por tanto para verificar se opta por hacer una simulación con el software Ansys dando resultados muy similares como se indica en la figura 20.



Fig. 20. Factor de seguridad del acople analizado con el software Ansys.

El caudal requerido para eliminar las espinas es de 0.22 m³/s, valor que es necesario para seleccionar el ventilador se escoge el ventilador AXP 357 6 BK 0,25 3000.

En la figura 21 se indica los resultados generados en el software SAP 2000 que demuestra que la estructura de la máquina limpiadora de tunas no posee ningún elemento de color rojo es decir no hay perfiles que puedan fallar por lo tanto las características de los perfiles utilizados en la máquina limpiadora de tunas son adecuadas para el requerimiento.

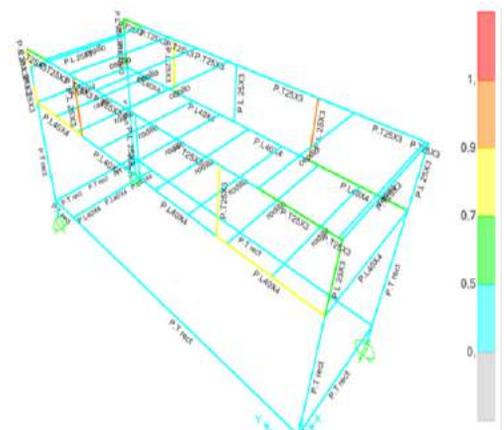


Fig. 21. Verificación de resistencia estructural con software SAP 2000.

Se realizó pruebas de funcionamiento de la máquina en vacío, carga parcial y a máxima carga consumiéndose una potencia máxima de 0.57 HP valor que es muy similar al calculado. Los valores de velocidad de 60 rpm y el voltaje de 220v se han mantenido constantes. Las figuras 22 y 23 muestran que al ir aumentando la rapidez de suministro de tunas crece de forma lineal al consumo de corriente y por ende la potencia.

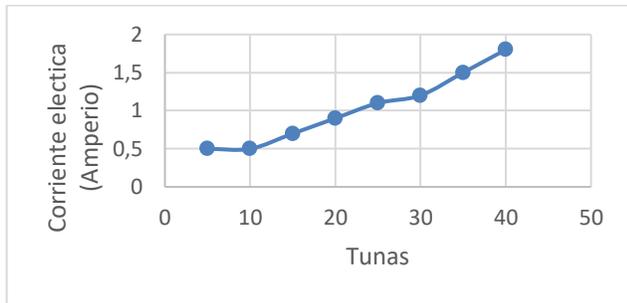


Fig. 22. Consumo de corriente eléctrica de la máquina en función de la cantidad de tunas.

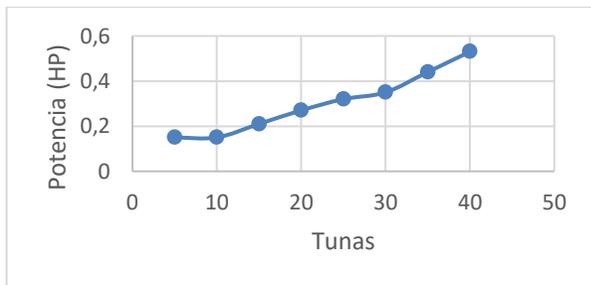


Fig. 23. Consumo de potencia eléctrica de la máquina en función de la cantidad de tunas.

Al realizar las pruebas de producción de la máquina se determina que en la limpieza de las tunas grandes y medianas la eficiencia es total, las tunas con tamaños muy pequeños tienden a no tener una limpieza total sin embargo la cantidad de tunas de pequeños tamaños sin una correcta limpieza es muy reducido de acuerdo a como se resume en la tabla X y figura 24.

TABLA X
RESULTADOS DE PRUEBAS DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA MÁQUINA.

Tipo de Tunas	Cantidad ingresada de tunas por minuto	Tiempo estimado (s)	Cantidad de tunas salidas
Grande	20	40	20
Mediana	30	45	30
Pequeña	40	60	38

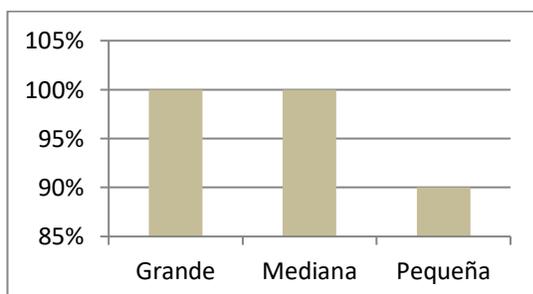


Fig. 24. Porcentaje de limpieza de las tunas dependiendo de los tamaños, la cantidad de tunas y la eficiencia de la limpieza.

La figura 25 muestra el comportamiento de la producción de la máquina a un régimen de carga entre parcial, es decir sin llegar a trabajar en máxima carga. El resultado se encuentra en un promedio de 20 tunas por minuto, la producción no es constante debido a que las variables de ingreso a la máquina no son constantes, las variables que influyen directamente son tamaños de las tunas, velocidad de ingreso de las tunas a la máquina, cantidad de espinas que posee cada tuna y otras.

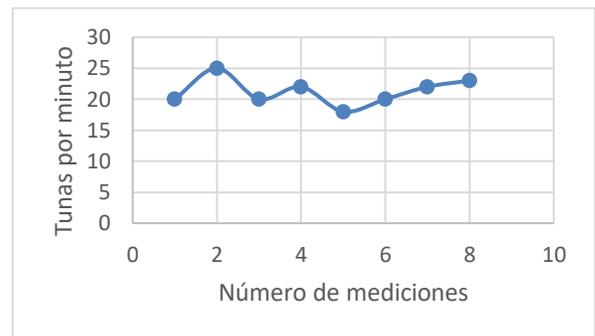


Fig. 25. Producción de la máquina limpiadora de espinas de tuna.

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología propuesta por Riba y los métodos que se propone para el diseño conceptual de un producto al aplicarse en el diseño de una máquina permite conocer las características técnicas que requiere el equipo para satisfacer las necesidades del cliente.

La máquina limpiadora de tunas se diseñó en sustento de la morfología de la tuna y sus propiedades físicas, para ello se realizaron experimentaciones determinando el volumen máximo de la fruta, y la resistencia de las espinas a la fricción, y con los resultados obtenidos se diseñó los elementos mecánicos con sus respectivas geometrías acoplándose a la necesidad de nuestro problema. Se validaron los resultados obtenidos de los elementos mecánicos con el software de simulación, Ansys y SAP2000. La máquina desarrollada tiene una producción de 20 tunas por minuto con eficiencia de casi el 100%.

REFERENCIAS

- Ullman, D. (2015). *The Mechanical Design Process*. McGRAW-HILL, Quinta Edición.
- Hamrock, B., Jacobson B. y Schmid, S. (2000). *Elementos de Máquinas*. México: McGRAW-HILL, Primera Edición.
- Riba, C. (2000). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Primera Edición. pp. 59-60-61.
- Budynas, R. y Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill, Novena Edición. pp. 4-6.
- MacCormac, J. (2000). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A, Quinta Edición. pp. 41-46
- Majure, L., Puente, R., Griffith, P., Judd, W. (2012). *Phylogeny of opuntia s.s. (cactaceae): clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution*. American Journal Of Botany.
- Norton,R. (2005). *Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México: McGRAW-HILL, Cuarta Edición. pp. 499- 520.

Control predictivo aplicado mediante un dispositivo programable en el laboratorio de curtiembre de la ESPOCH

Juan C. Repetto¹, Omar P. Yupangui, Karla B. Guerra², Raúl E. Gutiérrez³

Grupo de Investigación.

¹Instituto Tecnológico Superior Francisco de Orellana

²Instituto de Investigaciones, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

³Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.

jrepetto88@hotmail.com, omar.yupangui@gmail.com, karla._7@hotmail.com, raul.gutierrez@esPOCH.edu.ec

Resumen

Este estudio fue realizado en el laboratorio de curtiembre de la facultad de Ciencias Pecuarias de la Espoch, para la etapa de acabados del cuero en el proceso de curtiembre. Inicialmente se observó que el proceso para dar los acabados al cuero (vestimenta o calzado) se realiza de forma artesanal, el operador en base a la cantidad de cuero que posee pesa las cantidades de los químicos en polvo necesarios para dar el acabado deseado al cuero y que posteriormente se vierten uno a uno en el tambor donde se realiza el proceso siguiendo una secuencia de tiempo, aquí es donde se observa que las cantidades de los diferentes químicos dosificados presentan un margen de error alto. Se elaboró un algoritmo de control predictivo en Labview que aplicado mediante un dispositivo programable (arduino mega) controla catorce tolvas automatizadas las cuales dosifican las cantidades de los diferentes químicos en polvo necesarios para dar el acabado esperado al cuero, este algoritmo recibe el peso del cuero disponible y genera los cálculos necesarios para la correcta dosificación de los químicos, además señala el tiempo exacto en el cual deben ingresar estos químicos dentro del tambor de curtiembre y señala las pausas para realizar los procesos manuales, para que el acabado del cuero sea el deseado. Para la implementación de la parte mecánica del sistema de dosificación se utilizó varillas de acero inoxidable, tubería plástica y motores paso a paso, las tolvas que contienen los químicos fueron construidas de vidrio.

Palabras Claves

Algoritmo de control, Control predictivo, Dispositivo Programable, Dosificación, Margen de tiempo, Químicos en polvo.

Abstract

This study was carried out in the tannery laboratory of the Faculty of Animal Sciences of the Espoch, for the finishing stage of leather in the tanning process. Initially it was observed that the process to finish the leather (clothing or footwear) is done by hand, the operator based on the amount of leather that weighs the amounts of chemicals needed to give the desired finish to the leather and that later they are poured one by one into the drum where the process is carried out following a sequence of time. A predictive control algorithm was developed in Labview that applied by means of a programmable device (arduino mega) controls fourteen automated hoppers which dose the amounts of the different chemical powders necessary to give the expected finish to the leather, this algorithm receives the weight of the leather available and generates the necessary calculations for the correct dosing of the chemicals, also indicates the exact time in which these chemicals must enter the tannery drum and indicates the breaks to perform the manual processes, so that the leather finish is the desired. For the implementation of the mechanical part of the dosing system stainless steel rods, plastic pipes and stepper motors were used, the hoppers containing the chemicals were constructed of glass.

Index Terms

Control Algorithm, Predictive Control, Programmable Device, Dosing, Time margin, Powder Chemicals.

I. INTRODUCCIÓN

Los dispositivos lógicos junto con el control predictivo son ampliamente utilizados en controles automáticos, con aplicaciones dentro de la medicina, robótica, entre otras. Clarke (1988) argumenta que existen aplicaciones en la industria de cemento, desecadoras, brazos robóticos, mientras Gómez et al. (1996) argumentan aplicaciones médicas dentro del área de anestesia clínica. En la página cpoh.upv.es (2017) argumentan que el control predictivo, también conocido en la industria como control multivariable o control avanzado, es una estrategia de control que se ha impuesto en las últimas décadas en la industria de procesos como la mejor opción para controlar un proceso con múltiples entradas y múltiples salidas satisfaciendo además un conjunto de restricciones de operación del mismo. Las estrategias de control predictivo lineal, incluidas en diferentes productos comerciales están siendo aplicadas con éxito en los últimos años. Los retos existentes consisten en el diseño de algoritmos de control no lineal aplicables, de fácil implementación y haciendo uso de modelos no lineales para una operación óptima del proceso en todo su rango de funcionamiento.

Se puede definir al control predictivo basado en modelos (CPBM) como un control que se basa en un modelo matemático interno del proceso a controlar, es decir el modelo de predicción. Este modelo se utiliza para predecir la evolución de las variables a controlar a lo largo de un tiempo dado por el operador, de esta manera las variables manipuladas futuras se pueden calcular para lograr el horizonte temporal de predicción

Ruiz (2006) argumenta que el diseño flexible que brinda el control predictivo basado en modelos permite una mejor incorporación de diferentes modelos de predicción; además permite incorporar las restricciones que se presentan en las señales del sistema, en el modelo de control.

De acuerdo con TesisYupanguiRepetto (2015) el curtido que es el proceso mediante el cual se convierte las pieles de los animales en cuero. Para ello se tiene que quitar el pelo de la piel, curtirlas con los diferentes químicos y agua, luego teñirlas para producir un cuero terminado de acuerdo a lo que se vaya a realizar posteriormente con este.

El propósito del proceso de curtido es producir de la piel un material duradero, el mismo que no se descomponga por agentes exteriores ya sean estos físicos o biológicos.

De acuerdo con TesisYupanguiRepetto (2015) el acabado es el proceso que otorga al cuero una apariencia final agradable y vistosa al ojo del productor y del consumidor, resaltando las características propias de cuero. Además brinda protección contra los daños ya sean estos mecánicos o fricción, por la humedad, entre otros., dependiendo el uso que se le dé posteriormente. Existen un sinnúmero de acabados, todo depende de las ideas que tenga el productor de acabados.

Este estudio tiene como principal objetivo observar y evaluar la aplicación del control predictivo mediante un dispositivo programable en el proceso de acabado de la curtiembre del cuero, con lo cual se pretende obtener una dosificación más exacta de los químicos en polvo que intervienen en el proceso antes señalado, además se busca diseñar e implementar el sistema mecánico y electrónico para la construcción de la tolva y del sistema de dosificación de químicos.

La metodología utilizada en el presente documento fue científica e inductiva, ya que luego de realizar las pruebas y observaciones necesarias, los resultados fueron analizados mediante el test de Shapiro y t de Student para llegar a las respectivas conclusiones.

En la sección II se presenta el desarrollo del algoritmo del control predictivo en base a las cantidades de químico a utilizar en los acabados del cuero para calzado y vestimenta, y la implementación de un sistema de dosificación eficiente.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

ANALOGÍA DEL CONTROL PREDICTIVO

Para mejorar el entendimiento de cómo funciona el control predictivo se puede realizar una comparación con la conducción de un automóvil. La Fig. 1. muestra el carro en el instante “p”.

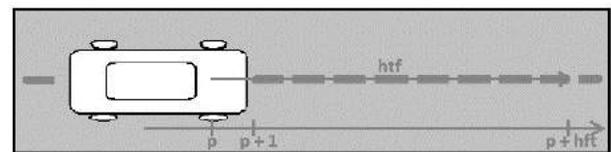


Fig. 1. Analogía del control predictivo.

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

Para explicar este ejemplo se debe partir desde el punto “p” que es el instante de partida, desde este punto el chofer ya conoce cuál es su trayectoria deseada, la cual la va a realizar en un horizonte de tiempo finito “hft”.

Tomando en cuenta las condiciones del vehículo (modelo, cilindraje, entre otros) y el entorno (modelo mental), el chofer decide la secuencia de acciones que debe realizar (acelerar, frenar, entre otros) para seguir su camino (trayectoria).

En el control predictivo solo la primera acción de control es tomada y esto se repite en el instante siguiente:

$$p+1 \tag{1}$$

Hasta llegar a:

$$p+htf \tag{2}$$

ALGORITMO

Antes de realizar el algoritmo se debe tener el modelo preciso del proceso a implementar, esto se debe a que el programa realiza el cálculo de las señales de control en un horizonte de tiempo que se desplaza hacia el futuro, dicho de otra manera, solo se debe aplicar la primera señal y los cálculos se procesan y realizan en un tiempo finito definido por el proceso a realizar.

Las cantidades de químico a dosificar están relacionadas con la cantidad de peso del cuero (Yt), debido a que es un proceso químico complejo el que se realiza para dar el acabado deseado al cuero, no se aplican todos los químicos a la vez ni todas las cantidades a dosificar son las mismas, por esta razón se necesitan subprocesos (p+n), es decir, la dosificación se realiza en instantes de tiempo (htf) y en cantidades de químico diferentes (dosificación).

Cabe recalcar que la predicción depende de la secuencia de actuaciones que serán ejecutadas desde el instante (p) hasta el instante (p + n). A lo largo del proceso, se denota a(p + p|n) al estado del sistema predicho en el instante (p + n) a partir del estado conocido en el instante (p), por lo tanto:

$$a(p + n + 1|p) = f(a(p + n|p), y(p + n|p)) \tag{3}$$

Donde a(p|p) = Ap, son los estados del sistema.

En la Fig. 2. se muestra el diagrama de flujo del proceso que se va a desarrollar.

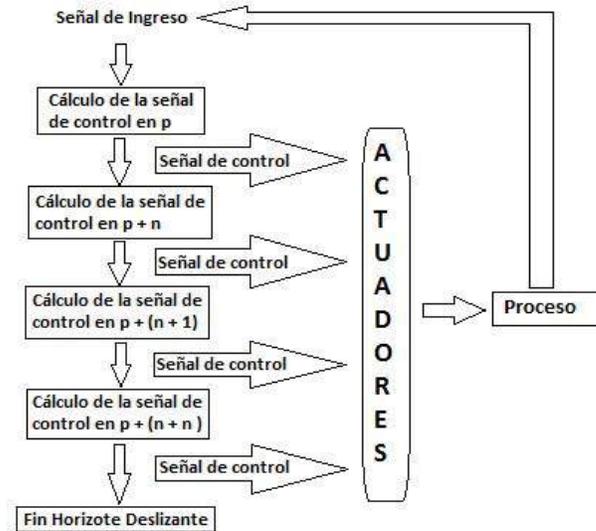
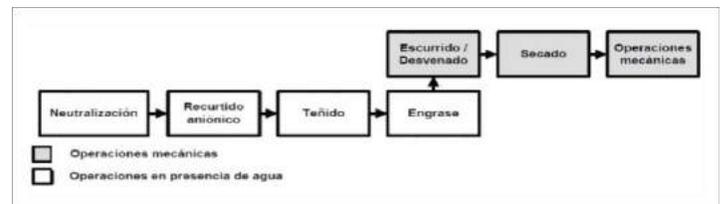


Fig. 2. Flujo-grama del Proceso
Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

Para poder diseñar el algoritmo del control predictivo se necesita conocer el proceso que se va a realizar. Los cueros que se curten al cromo, se someten a una serie de procesos que buscan cambiar su aspecto final, para que sean más agradables a la vista, al tacto y tengan una mayor



durabilidad, en la Fig. 3. Se muestra el flujograma de acabado en húmedo del cuero.

Fig. 3. Flujograma de acabado en Húmedo
Fuente: <http://web.ciatec.mx/varios/asotelo/archivos/MATERIALES%20PARA%20CORTE%20Y%20FORRO%20CEINNOVA%202011.pdf>

DOSIFICACIÓN

La dosificación de las diferentes sustancias se realiza mediante sistemas capaces de suministrar o liberar cantidades fijas de estas sustancias, según sea requerido por el proceso a efectuarse. Los químicos en polvo presentan inconvenientes al momento de su dosificación ya que forman muchas veces una nube en el recipiente que produce pérdidas del material y además al ser de fácil compresión pueden formarse aglomeraciones que deben ser disueltas para poder ser dosificados.

El sistema de dosificación utilizado está constituido por una tolva de alimentación y un tornillo sin fin de dosificación, que actúa en el eje vertical del sistema, el

tornillo sin fin en su extremo inferior está sujeto a un motor, el tornillo al momento de girar arrastra en sus aspas el producto que se desea dosifica, este pasa a través de un tubo para que finalmente caiga por su extremo abierto al final, como se observa en la Fig. 4.

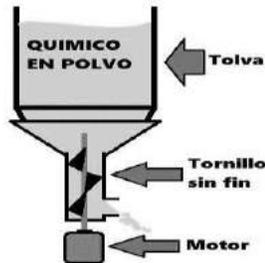


Fig. 4. Diagrama de la tolva, el motor y el tornillo sin fin
Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

CANTIDAD DE QUÍMICOS A UTILIZAR

Luego de implementar el prototipo se procede a realizar las respectivas pruebas para comprobar su funcionamiento, las pruebas realizadas ayudaron a verificar si la cantidad de químico en polvo dosificado es el esperado.

Las pruebas se realizaron en base a 10000g de cuero, este peso es tanto para Vestimenta como para Calzado de Dama.

Los químicos que intervienen en la etapa de acabados para Calzado de Dama son: tensoactivo, cromo (dos veces), resina acrílica, bisulfito de sodio, recurtiente neutral, anilina, relleno de falda, recurtiente sintético y tara, y se muestran en la Tabla I.

TABLA I
CANTIDAD DE QUÍMICOS A UTILIZAR EN 10000G DE CUERO,
PARA OBTENER UN ACABADO PARA CALZADO

Químico	Cantidad de químico ideal (gr)
Tensoactivo	20
Cromo	400
Recurtiente	400
Formiato de Sodio	100
Bicarbonato de sodio	100
Dispersante	100
Quebracho	400
Anilina	300
Cromo	200

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

Los químicos que intervienen en la etapa de acabados para Vestimenta son: tensoactivo, cromo (dos veces), recurtiente fenólico, formiato de sodio, bicarbonato de sodio, dispersante, quebracho y anilina, y se muestran en la Tabla II.

TABLA II
CANTIDAD DE QUÍMICOS A UTILIZAR EN 10000G DE CUERO,
PARA OBTENER UN ACABADO DE VESTIMENTA

Químico	Cantidad de químico ideal (gr)
Tensoactivo	20
Cromo	100
Resina acrílica	500
Bisulfito de sodio	300
Recurtiente neutral	100
Anilina	300
Relleno de falda	200
Recurtiente sintético	200
Tara	400
Cromo	100

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

DISEÑO MECÁNICO DE LA TOLVA

El diseño del sistema mecánico se lo realizó en tres etapas. La primera etapa fue el diseño e implementación de la tolva en vidrio como se muestra en la Fig. 5., esta alberga los catorce químicos en polvo.



Fig. 5. Tolva

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

La siguiente etapa fue la estructura metálica, se construyó con un soporte para las tolvas en la parte superior, para su construcción se utilizaron tubos metálicos, como se puede observar en la Fig. 6.



Fig. 6. Estructura metálica

Fuente: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4458>

Una vez construía la tolva y el soporte de la misma se procede a la última etapa en donde se construyó los tornillos sin fin para la dosificación, utilizando para este fin los motores pasos a paso, tubería plástica, una barra de acero inoxidable y aspas de plástico, en la Fig. 7. se puede apreciar el sistema de dosificación funcional.



Fig. 7. Tornillo sin fin

Fuente: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4458>

DIAGRAMA FUNCIONAL

El control se desarrolló utilizando LabView en donde se implementó el algoritmo del proceso y mediante un dispositivo programable (Arduino Mega) se realizó el control de los actuadores.

En la Fig. 8 se muestra el funcionamiento de la tolva de manera gráfica, después de haber diseñado he implementado el software y el hardware utilizando control predictivo.



Fig. 8. Esquema de Funcionamiento

Fuente: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4458>

INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica para el control del programa está compuesta de la siguiente manera, consta de un casillero para el ingreso del peso del cuero y un botón Empezar, 14 indicadores los cuales representan el funcionamiento de los motores, un cuadro de texto que informa estado del proceso y el subproceso que se está ejecutando, además de un cuadro de texto que guarda el registro de procesos ejecutados y un temporizador por subproceso.



Fig. 9. Pantalla del programa

Fuente: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4458>

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS MOTORES PASO A PASO

Antes de aplicar control predictivo en los motores mediante el uso de Matlab primeramente se debe hallar la función de transferencia de los mismos.

La función de transferencia de un motor de corriente directa según Dorf y Bishop (2005. Pp 65) es la siguiente:

$$\theta(s)/V_a(s) = K_m / (s[(R_a + L_a s)(J s + b) + K_n K_m]) \quad (4)$$

Donde:

- $\Theta(s)$ = Velocidad angular.
- $V_a(s)$ = Voltaje de ingreso.
- $K_m = K_n$ = Ganancia del motor = constantes del motor.
- s = Variable de la función de transferencia.
- J = Momento de inercia del Motor.
- b = Coeficiente de fricción.
- L_a = Inductancia eléctrica.
- R_a = Resistencia eléctrica.

La función de transferencia para los motores Sanyo es:

$$G(S) = \frac{0.021}{S[(0.01155)S^2 + (0.055068)S + (0.007479)]} \quad (5)$$

La función de transferencia para los motores Minebeas es:

$$G(s) = \frac{0.125}{s[0.00264s^2 + 0.04027s + 0.2147]} \quad (6)$$

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla III se muestran los resultados obtenidos en las 10 pruebas realizadas en el proceso de acabado para vestimenta con un peso de 10000g.

TABLA III
CANTIDAD DE QUÍMICO DOSIFICADO PARA 10000G DE CUERO EN LAS 10 PRUEBAS REALIZADAS PARA OBTENER UN ACABADO DE VESTIMENTA

Químico	Cantidades de químico dosificado (gr) en las diferentes pruebas									
	Pba 1	Pba 2	Pba 3	Pba 4	Pba 5	Pba 6	Pba 7	Pba 8	Pba 9	Pba 10
Tensoactivo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cromo	405	411	391	402	406	405	404	409	412	389
Recurtiente Fenólico	397	399	390	396	402	389	412	396	409	406
Formiato de Sodio	97	102	97	99	97	99	98	103	100	97
Bicarbonato de sodio	97	98	100	99	98	103	98	98	101	101
Dispersante	100	101	102	98	100	102	97	99	100	102
Quebracho	409	406	396	403	388	394	390	398	411	409
Anilina	309	306	291	295	302	304	301	296	305	292
Cromo	200	204	200	202	197	194	203	201	203	203

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

En la Tabla IV se detalla el peso ideal para el proceso de acabado y el promedio general del peso de los químicos dosificados en las 10 pruebas para obtener un acabado de vestimenta.

TABLA IV
PESO DE QUÍMICO IDEAL Y EL PESO PROMEDIO DE LOS QUÍMICOS DOSIFICADOS PARA OBTENER EL ACABADO DE VESTIMENTA

Químico	Cantidad de químico ideal (gr)	Promedio de las cantidades de químicos obtenidos en las pruebas
Tensoactivo	20	20
Cromo	400	403,4
Recurtiente	400	399,6
Formiato de Sodio	100	98,9
Bicarbonato	100	99,3
Dispersante	100	100,1

Quebracho	400	400,4
Anilina	300	300,1
Cromo	200	200,7

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

En la Fig. 10. mediante un gráfico de barras se muestra la cantidad del peso ideal para obtener un acabado de vestimenta vs el peso promedio dosificados de los químicos que intervienen en el proceso.



Fig. 10. Gráfica de barras con el peso ideal y el peso promedio de los químicos para Vestimenta con un peso de 10000g

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

En la Tabla V se muestran los resultados obtenidos en las 10 pruebas realizadas en el proceso de acabado para calzado de dama con un peso de 10000g.

TABLA V
CANTIDAD DE QUÍMICO DOSIFICADO PARA 10000G DE CUERO EN LAS 10 PRUEBAS REALIZADAS PARA OBTENER UN ACABADO DE CALZADO DE DAMA

Químico	Cantidades de químico dosificado (gr) en las diferentes pruebas									
	Pba 1	Pba 2	Pba 3	Pba 4	Pba 5	Pba 6	Pba 7	Pba 8	Pba 9	Pba 10
Tensoactivo	20	20	20	21	20	20	20	19	19	20
Cromo	100	101	98	101	103	103	100	103	99	102
Resina	506	513	508	496	515	497	488	505	492	485
Bisulfito de sodio	296	306	297	285	291	299	302	306	299	287
Recurtiente neutral	99	100	99	100	98	102	101	100	101	100
Anilina	297	299	308	293	307	296	301	304	306	293
Relleno de falda	198	201	198	194	203	202	197	199	194	199
Recurtiente sintético	199	199	200	200	200	196	199	198	198	204
Tara	405	411	391	402	406	405	404	409	412	389
Cromo	100	101	98	101	101	99	100	100	99	102

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

En la Tabla VI se detalla el peso ideal para el proceso de acabado y el promedio general del peso de los químicos dosificados en las 10 pruebas para obtener un acabado de calzado de dama.

TABLA VI
PESO DE QUÍMICO IDEAL Y EL PESO PROMEDIO DE LOS QUÍMICOS DOSIFICADOS PARA OBTENER EL ACABADO DE CALZADO DE DAMA

Químico	Cantidad de químico ideal (gr)	Promedio de las cantidades de químicos obtenidos en las pruebas
Tensoactivo	20	19,9
Cromo	100	101
Resina acrílica	500	500,5
Bisulfito de sodio	300	296,8
Recurtiente neutral	100	100
Anilina	300	300,4
Relleno de falda	200	198,5
Recurtiente sintético	200	199,3
Tara	400	403,4
Cromo	100	100,1

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

En la Fig. 11. mediante un gráfico de barras se muestra la cantidad del peso ideal para obtener un acabado de calzado de dama vs el peso promedio dosificados de los químicos que intervienen en el proceso.



Fig. 11. Gráfica de barras con el peso ideal y el peso promedio de los químicos para Calzado de Dama con un peso de 10000g

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

Como se observa en los gráficos de barras no hay una diferencia significativa en el peso de los químicos

dosificados con respecto al peso ideal de los químicos en polvo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Para realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos en las pruebas de dosificación se usaron dos métodos: el primero fue el test de Shapiro que comprueba que los datos sigan una distribución normal y el segundo método fue t de Student que comprueba la existencia o inexistencia de una diferencia significativa entre el peso de los químicos dosificados y del peso ideal de los químicos en polvo utilizados en el proceso.

En el test de Shapiro se trabaja con un nivel de confianza del 95%, como se realizaron 10 pruebas de dosificación, tanto para el proceso de acabado para vestimenta como para el proceso de acabado para calzado de dama se tendrá 10 grados de libertad por cada químico en cada medición, con estos valores se obtiene que el valor crítico V_c es igual a 0.842, para que todos los valores obtenidos sean normales el valor W de cada químico dosificado debe ser mayor al valor crítico.

En la Tabla VII se muestran los resultados obtenidos en el test de Shapiro para los datos del proceso de Vestimenta.

TABLA VII
RESULTADOS DEL TEST DE SHAPIRO CON LOS DATOS OBTENIDOS PARA VESTIMENTA

Químico	Test de Shapiro para normalidad	VALORES W
	n=10 al 95% de confianza $V_c=0.842$	
Tensoactivo	Se cumple, datos idénticos.	VALORES W
Cromo	0,8968	
Recurtiente Fenólico	0,9537	
Formiato de Sodio	0,8436	
Bicarbonato de sodio	0,8943	
Dispersante	0,911	
Quebracho	0,9264	
Anilina	0,9388	
Cromo	0,8715	

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

En la Tabla VIII se muestran los resultados obtenidos en el test de Shapiro para los datos del proceso de Calzado de Dama.

TABLA VIII
RESULTADOS DEL TEST DE SHAPIRO CON LOS DATOS OBTENIDOS PARA CALZADO DE DAMA

	Químico	Test de Shapiro para normalidad	VALORES W
		n=10 al 95% de confianza Vc=0.842	
Proceso de acabado para Calzado de dama (10000g)	Tensoactivo	0,9519	VALORES W
	Cromo	0,9191	
	Resina acrílica	0,9492	
	Bisulfito de sodio	0,9365	
	Recurtiente neutral	0,9529	
	Anilina	0,9206	
	Relleno de falda	0,942	
	Recurtiente sintético	0,8827	
	Tara	0,8968	
	Cromo	0,9519	

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

Como los valores W obtenidos en las Tablas VII y VIII son mayores que el valor crítico, los datos siguen una distribución normal tanto en calzado de dama como en vestimenta.

El siguiente análisis estadístico es el test t de Student, para este test se trabaja con un 95% de confianza y se ocupa una muestra de 9 datos, porque para este test la muestra es igual a n-1.

El valor crítico Vc es igual a 1.833, si el valor t obtenido es menor al valor crítico significa que no hay una diferencia significativa de los datos con respecto a una media dada.

En la Tabla IX se muestran los resultados obtenidos en el test t de Student para los datos del proceso de Vestimenta.

TABLA IX
RESULTADOS DEL TEST DE T DE STUDENT CON LOS DATOS OBTENIDOS PARA VESTIMENTA

	Químico	Test t de student	VALORES T
		n=9 al 95% de confianza Vc=1.833	
Proceso de acabado para Vestimenta (10 kg)	Tensoactivo	Se cumple, datos idénticos	VALORES T
	Cromo	1,3837	
	Recurtiente Fenólico	-0,1654	
	Formiato de Sodio	-1,5933	
	Bicarbonato de sodio	-1,1721	
	Dispersante	0,1829	
	Quebracho	0,1516	
	Anilina	0,0508	
	Cromo	0,7075	

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

En la Tabla X se muestran los resultados obtenidos en el test de Shapiro para los datos del proceso de Calzado de Dama.

TABLA X
RESULTADOS DEL TEST DE T DE STUDENT CON LOS DATOS OBTENIDOS PARA CALZADO DE DAMA

	Químico	Test t de student	VALORES T
		n=9 al 95% de confianza Vc=1.833	
Proceso de acabado para Calzado de dama (10 kg)	Tensoactivo	-0,2641	VALORES T
	Cromo	1,7928	
	Resina acrílica	0,1519	
	Bisulfito de sodio	-1,3920	
	Recurtiente neutral	0,0000	
	Anilina	0,2235	
	Relleno de falda	-1,5667	
	Recurtiente sintético	-1,0759	
	Tara	1,3837	
	cromo	0,2641	

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

Como se observa en las Tablas IX y X del test t de Student los valores t obtenidos tanto para vestimenta como para calzado de dama no sobrepasan el valor crítico, gracias a esta comprobación y al test de Shapiro se puede inferir que el promedio de las cantidades de químico ideal con respecto a las cantidades de químico dosificado no muestran diferencias significativas para este proceso en el Laboratorio de Curtiembre de la Facultad de Ciencias Pecuarias al momento de realizar el presente trabajo.

APLICACIÓN DE CONTROL PREDICTIVO EN LOS MOTORES DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Con la ayuda de MPCTOOL de Matlab se genera las gráficas que muestran la señal de transferencia de los motores sin aplicar control predictivo y aplicando control predictivo.

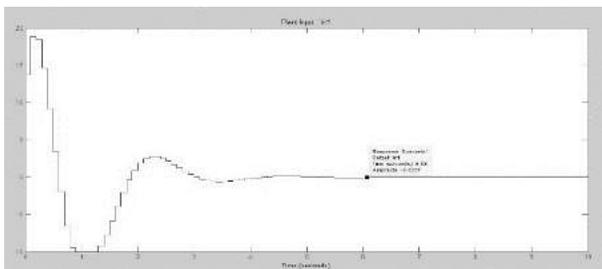


Fig. 12. Transferencia de los motores Sanyo sin control predictivo.

Fuente: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

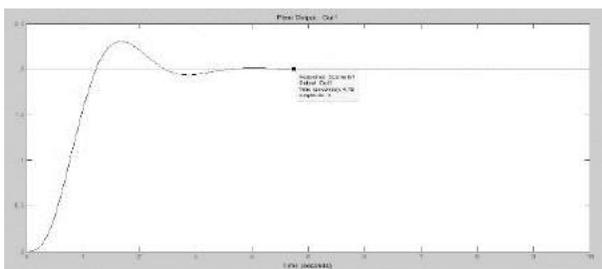


Fig. 13. Función de Transferencia de los motores Sanyo con control predictivo

Fuente: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

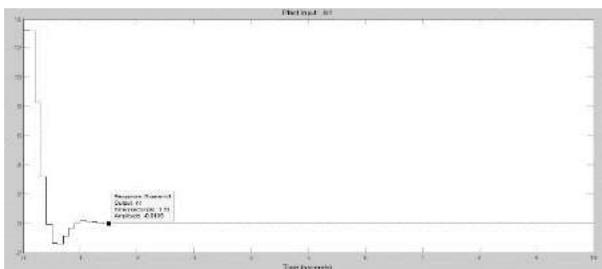


Fig. 14. Función de transferencia de los motores Minebea sin control predictivo.

Fuente: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

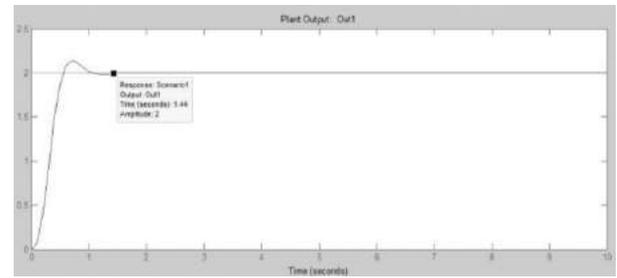


Fig. 15. Función de Transferencia de los motores Minebea con control predictivo.

Fuente: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4458>

Al comparar la Fig. 12. con la Fig. 13. y la Fig. 14. con la Fig. 15. respectivamente, se puede notar que la señal de las funciones de transferencias en las cuales se aplicó control predictivo se estabiliza en un tiempo menor en comparación con la señal a la cual no se aplicó control predictivo.

Aplicando control predictivo se puede controlar las distorsiones que se presentan al momento de poner en marcha el sistema y además estabiliza las señales en un menor tiempo brindando una rápida respuesta.

IV. CONCLUSIONES

1. La aplicación de control predictivo brinda una mayor versatilidad en el procesamiento de datos y de futuras respuestas en un margen de tiempo.
2. La dosificación de los químicos en polvo es casi exacta con el sistema de dosificación diseñado.
3. Con la herramienta MCPTOOL de Matlab se puede visualizar las señales de los motores antes de aplicar control predictivo y después de aplicar control predictivo, en base a la función de transferencia de los motores.
4. En las gráficas de las señales a las que se aplicó control predictivo se puede observar que presentan menos distorsión y una rápida respuesta de estabilidad en el tiempo.
5. Tener un modelo preciso del proceso a controlar mediante control predictivo, permite que el resultado obtenido se ajuste al esperado.

V. RECOMENDACIONES

1. Asegurar el buen estado de las conexiones eléctricas, a fin de evitar cualquier incidente

2. Al momento de realizar la comunicación entre todos dispositivos se debe tener en cuenta que los voltajes con los que trabajan para realizar la comunicación sean los mismos.

3. Debido a que en este tipo de proyectos se necesita un tiempo de cómputo veloz y gran procesamiento de datos es necesario trabajar con computadoras potentes y dispositivos que brinden un buen desempeño.

4. Al momento de implementar los circuitos de control y los circuitos de potencia, se debe tener cuidado ya que el consumo de energía no es el mismo y se tiene que usar una fuente de poder que brinde las condiciones necesarias para trabajar.

5. Tener mucho cuidado al momento de manipular los elementos sensibles ya que la energía estática almacenada por el cuerpo humano puede quemar algunos dispositivos, por lo cual se recomienda descargarse tocando alguna puesta a tierra.

REFERENCIAS

1. BLUM, F. (2013). Exploring Arduino Tools and Techniques for Engineering Wizardry. New York-Estados Unidos: JhonWiley & Sons.
2. BORDÓNS, C. (2000). Control Predictivo: Metodología, Tecnología y Nuevas Perspectivas. Almería, España: Universidad de Sevilla
3. Carey W. (2017). Introduction to Labview Programming Including Arduino Toolkit. Recuperado de http://www.marinetech.org/files/marine/files/curriculum/irov/module11/module_11_handout.pdf
4. Clarke, D. (1988). Application of Generalized Predictive Control to Industrial Processes. IEEE Control Systems Magazine 122, pp 49-55.
5. DORF, R. (2005). Sistemas de Control Moderno: Asignatura Control Predictivo 10ma Edición. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
6. FEROLDI, D. (2012). Control Predictivo Basado en Modelo con Restricciones: Asignatura Control Predictivo Aplicado a Procesos Industriales. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
7. GÓMEZ, J. Y CAMACHO E. (1996). Mobile Robot Navigation in a Partially Structured Environment using Neural Predictive Control. Control Engineering Practice 4, pp 1669-1679.
8. MAYTA J. (2011). Manual de peletería y Curtiembre. Puno, Perú: Universidad Nacional Del Altiplano y Facultad De Ciencias Agrarias E.P. Ingeniería Agroindustrial
9. RUIZ, C. (2006). Control Predictivo Basado en Modelos. Recuperado de <http://svmesa.com/pdfs/model-based-predictive-control-technologies-and-industrial-projects-visualmesa.pdf>.
10. RUIZ, J. (2017). LABVIEW + ARDUINO. Recuperado de <http://es.slideshare.net/AlbertoSanchez6/arduino-lab-view>
11. TesisYupanguiRepetto (2015). Aplicación del Control Predictivo Mediante un Dispositivo Lógico Programable en el Laboratorio de Curtiembre de la FCP-ESPOCH. Recuperado de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4458>

Simulación cinemática, dinámica y de resistencia mecánica de un sistema de robots paralelos delta para rehabilitación de tobillo

Miguel Pérez Bayas, Geovanny Novillo Andrade, Byron Zurita Meza, Alex Pérez Freire.
Grupo de investigación y estudio de bioingeniería (GIEBI)
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.
perezmiguel3877@gmail.com, gnovillo@epoch.edu.ec, byron_meta@hotmail.com, aperez_f@epoch.edu.ec.

Resumen

El presente trabajo tecnológico basado en la bioingeniería, tiene como objetivo la simulación cinética, dinámica y simulación de resistencia mecánica de un sistema de robots paralelos tipo delta para rehabilitación de tobillo para el grupo de investigación y estudio de bioingeniería de la Facultad de Mecánica ESPOCH. Debido a los rangos de movimiento del tobillo en el proceso final de rehabilitación por kinesiología, se modeló en SolidWorks un mecanismo que consta de un sistema de dos robots paralelos tipo delta invertidos con tres grados de libertad cada uno, con seis actuadores en la plataforma fija y dos adicionales en las plataformas móviles incrementando tres grados de libertad logrando todos los ángulos y los seis movimientos como 30,6° en dorsiflexión, 46,5° en flexión plantar, 27,19° en inversión, 23,99° en eversión, 29° en abducción y 38° en aducción, se diferencia de otros trabajos de investigación que carecen de todos los movimientos en el proceso de rehabilitación, lo cual se verificó mediante un estudio de movimiento y detección de interferencias. Mediante la cinemática inversa y directa se determinó posición y velocidad en los brazos robóticos dando como velocidad angular máxima 64°/s y velocidad lineal máxima 34 mm/s, para el cálculo del torque necesario se realizó un análisis dinámico donde se determinó momentos en función del tiempo utilizando MSC Adams dando como torque necesario para el movimiento el valor de 263,2061 N/mm. Para el análisis de deformaciones, esfuerzos normales y esfuerzos cortantes se utilizó software ANSYS, con su plataforma *Workbench* y su módulo de análisis estructural encontrando una deformación máxima de 0,16177mm y un esfuerzo máximo equivalente de von mises de 21,912Mpa.

Palabras Claves

Análisis cinemático, Análisis dinámico, Diseño mecánico, Rehabilitación de tobillo, Robot paralelo delta.

Abstract

The present technological work based on bioengineering, aims at the kinetic simulation, dynamics and simulation of mechanical resistance of a parallel delta type robot system for ankle rehabilitation for the research and bioengineering group of the ESPOCH School of Mechanics. Due to the ranges of movement of the ankle in the final rehabilitation process by kinesiology, SolidWorks modeled a mechanism consisting of a system of two parallel inverted delta robots with three degrees of freedom each, with six actuators in the fixed platform and two additional on the mobile platforms increasing three degrees of freedom achieving all angles and six movements as 30.6° in dorsiflexion, 46.5° in plantar flexion, 27.19° in inversion, 23.99° in eversion, 29° in abduction and 38° in adduction, it differs from other research works that lack all the movements in the rehabilitation process, which was verified by means of a study of movement and detection of interferences. Through reverse and direct kinematics was determined position and speed in the robotic arms giving as maximum angular velocity 64°/s and maximum linear speed 34 mm/s, for the calculation of the necessary torque, a dynamic analysis was carried out where moments were determined as a function of time using MSC Adams giving as a necessary torque for the movement the value of 2633,2061 N mm. For the analysis of deformations, normal stresses and shear stresses, ANSYS software was used, with its Workbench platform and its structural analysis module, finding a maximum deformation of 0.16177mm and a maximum equivalent von MISES effort of 21.912Mpa.

Index Terms

Ankle rehabilitation, Design, Dynamic analysis, Kinematic analysis, Parallel delta robot

I. INTRODUCCIÓN

El grupo de investigación y estudio de bioingeniería de la ESPOCH busca de manera continua soluciones a problemas enfocados con los procesos de rehabilitación de extremidades y partes en las que el ser humano ha sufrido alguna lesión o daño, la búsqueda de estas soluciones es a través de una ardua y continua tarea de investigación.

En Ecuador existen muy escasos dispositivos automáticos de rehabilitación de tobillo, a nivel global existen algunos rehabilitadores [18], [12] pero carecen de todos los movimientos necesarios para el proceso de rehabilitación entonces nace la necesidad de plantear un problema y enfrentarlo de manera inteligente con un enfoque ingenieril y moderno. Mediante el diseño de un sistema de robots paralelos tipo delta invertidos podemos dar solución a problemas como: eficiencia en la rehabilitación de tobillo, tiempos prolongados de rehabilitación de tobillo sin agotamiento del rehabilitador, suplir la demanda de personas necesitadas de rehabilitación de tobillo y dar solución aquellos deportistas que, debido a los problemas de esguinces que sufren en el tobillo, necesitan una terapia de rehabilitación del mismo.

El Objetivo de esta investigación es modelar un sistema de robots paralelos tipo delta y realizar el análisis de rangos de movimiento con análisis de simulación cinética y de análisis de simulación de resistencia mecánica que pueda cumplir la función de rehabilitación de tobillo.

En el tobillo hay algunos términos adicionales relacionados con el movimiento que son únicos, estos movimientos describen el proceso de rehabilitación del tobillo con rangos de movilidad, estos movimientos se describen continuación:

Dorsiflexión, Flexión plantar, Inversión, Eversión, Abducción/rotación externa, Aducción/rotación interna (Saladin, 2013).

Los movimientos descritos se los puede apreciar en la Fig. 1 donde se resume todos los movimientos de la rehabilitación.

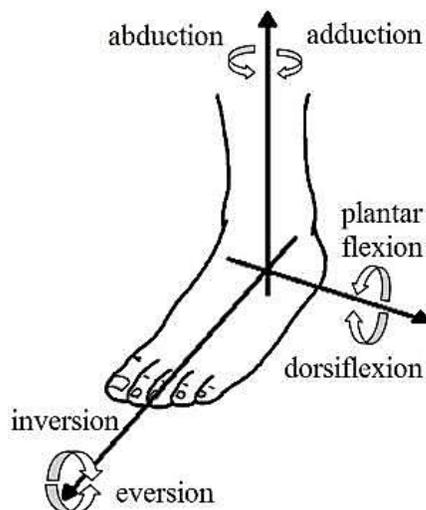


Fig. 1. Movimientos del tobillo.

Como se pudo observar en la figura anterior estos son los movimientos para rehabilitación y poseen rangos permisibles, la tabla 1 muestra los movimientos con los rangos necesarios para un correcto proceso de rehabilitación, el diseño del robot para rehabilitación se basa en los rangos permisibles consultados y mostrados en esta sección.

TABLA I
RANGO DE MOVIMIENTOS DEL TOBILLO

Tipo de movimiento	Movimiento máximo permisible
Dorsiflexión	20,3°-29,8°
Flexión plantar	37,6°-45,8°
Inversión	14,5°-22,0°
Eversión	10,0°-17,0°
Abducción/rotación externa	15,4°-25,9°
Aducción/rotación interna	22,0°-36,0°

Tsoi, Y., & Xie, S. (2010). *Design and control of a parallel robot for ankle rehabilitation*. Int. J. Intelligent Systems Technologies and Applications.

Un robot paralelo se compone de un efector final con *n* grados de libertad y de una base fija, unidos entre sí por al menos dos cadenas cinemáticas independientes. La actuación tiene lugar mediante *n* actuadores simples (Merlet, 2006). La historia del robot paralelo data del año 1931 en donde James Gwinnett diseña una plataforma destinada a la industria del entrenamiento, pero nunca fue construido. En la actualidad el desarrollo y las aplicaciones de los robots paralelos ha sido muy diversa, tal es el caso que, en agosto de 2005, la Corporación Multinacional ABB, presenta un robot paralelo IRB 340, tal como se muestra en la Fig. 2, desarrollado para experimentar el control visual. Las configuraciones de los robots paralelos tipo delta se pueden clasificar en robots en el plano y espaciales, dependiendo de si actúan sobre un plano de dos dimensiones o sobre un volumen de tres dimensiones, la aplicación del robot delta ha sido utilizada en la industria en innumerables procesos de selección y clasificación.



Fig. 2. Robot IRB 340, ABB (Corporación multinacional de Tecnología)

II. DISEÑO MECÁNICO

En el diseño mecánico consta las etapas de modelado mecánico, análisis cinemático, análisis de resistencia mecánica y análisis dinámico del robot. En la Fig. 3 se muestra el diseño del robot en SolidWorks y la verificación de los rangos de movimiento en el proceso de rehabilitación.

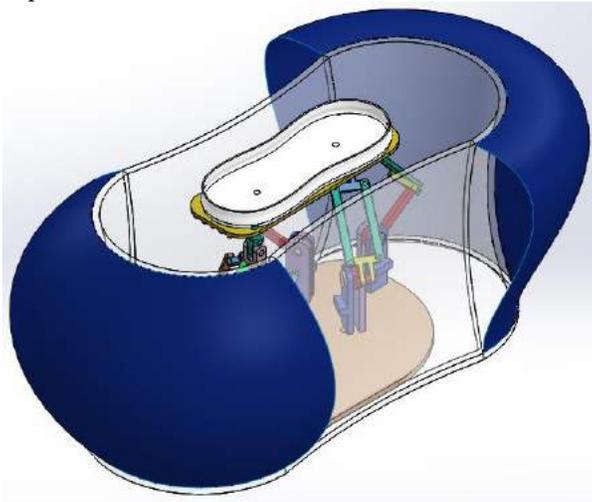


Fig. 3. Robot paralelo delta para rehabilitación del tobillo.
(Fuente: Autor)

A continuación, se muestra los rangos de movimiento en el proceso de rehabilitación que debe cumplir el robot.

A. Verificación de los rangos de movimiento para rehabilitación.

La Fig.4 muestra el movimiento de *Dorsiflexión con 30, 6°* de inclinación de la plataforma, la Fig.5 muestra el movimiento de *Flexión plantar con 46, 54°* de inclinación de la plataforma, la Fig.6 muestra el movimiento de *Inversión con 27, 19°* de inclinación de la plataforma, la Fig.7 muestra el movimiento de *Eversión con 23, 99°* de inclinación de la plataforma, la Fig.8 muestra el movimiento de *Abducción con 29,06°* de inclinación de la plataforma y finalmente la la Fig.9 muestra el movimiento de *Aducción con 38, 23°* de inclinación de la plataforma.

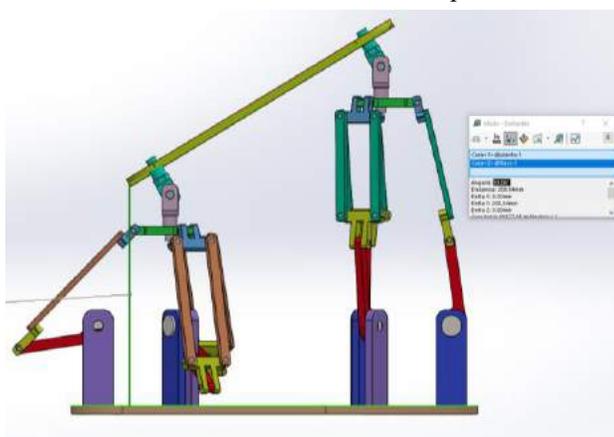


Fig. 4. Dorsiflexión con 30, 6°

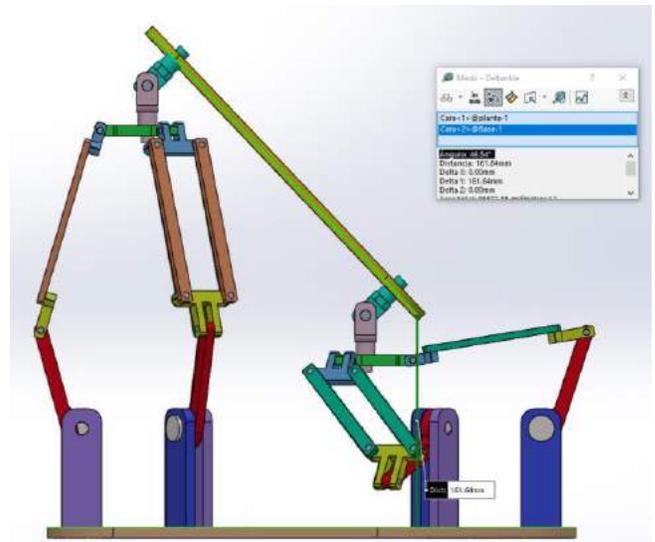


Fig. 5. Flexión plantar con 46, 54°

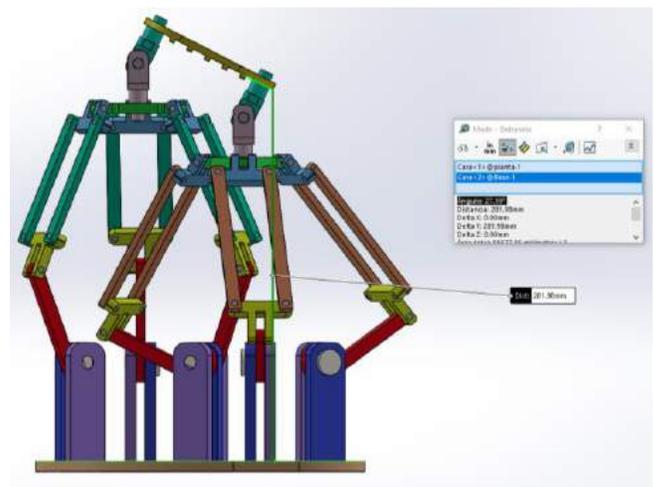


Fig. 6. Inversión con 27, 19°

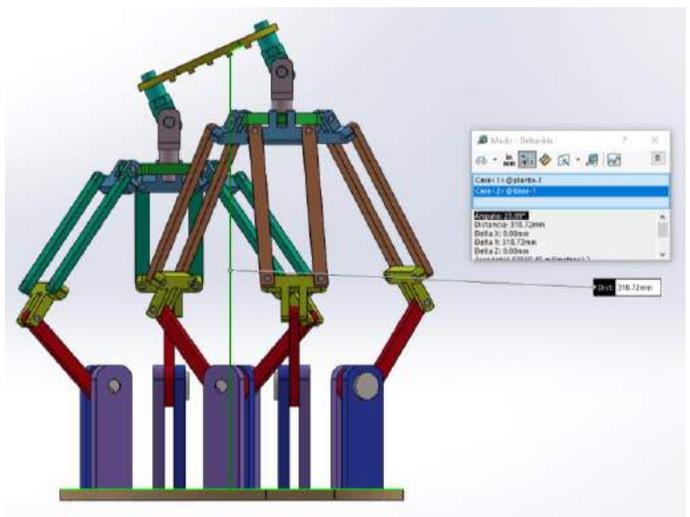


Fig. 7 Eversión con 23, 99°

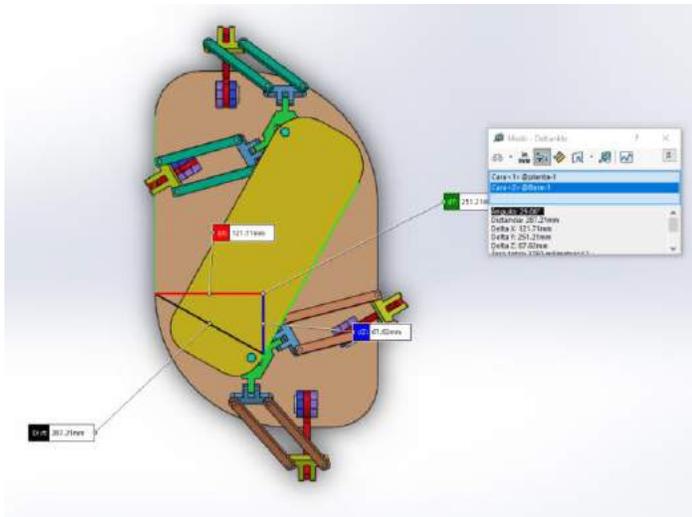


Fig. 8. Abducción con 29,06°

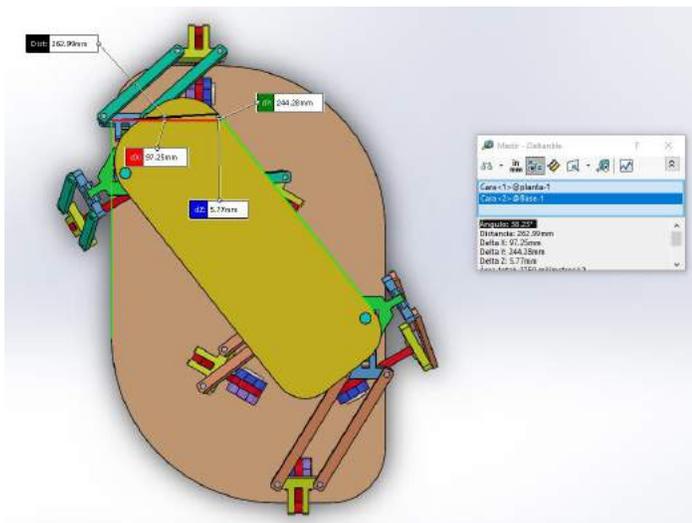


Fig. 9. Aducción con 38, 23°

Como se muestra en las figuras anteriores, el sistema de dos robots paralelos tipo delta, otorga todos los rangos de movimiento en el proceso de rehabilitación de tobillo.

B. Análisis Cinemático

La cinemática estudia el movimiento del robot con respecto a un sistema de referencia sin considerar las fuerzas que intervienen (Antonio Barrientos 2007). La representación de la orientación de un sistema móvil con respecto a un sistema fijo está dada por la siguiente ecuación T , la misma expresa la forma global de rotación y la expresión para calcular la misma.

$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \phi & -\sin \theta \cos \alpha + \cos \theta \sin \phi \sin \alpha & \sin \theta \sin \alpha + \cos \theta \sin \phi \cos \alpha \\ \sin \theta \cos \phi & \cos \theta \cos \alpha + \sin \theta \sin \phi \sin \alpha & \sin \theta \sin \phi \cos \alpha - \cos \theta \sin \alpha \\ -\sin \phi & \cos \phi \sin \alpha & \cos \phi \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dónde: α , ϕ y θ son los ángulos con respecto al sistema x , y , z respectivamente.

Para relacionar la rotación con la traslación de un efector final respecto de un sistema de referencia fijo, es conveniente conocer la matriz de transformación homogénea que viene dada por la expresión:

$$T = \begin{bmatrix} R_{3x3} & P_{3x1} \\ f_{1x3} & w_{1x1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rotacion & Traslacion \\ Perspectiva & Escalado \end{bmatrix} \quad (2)$$

La resolución del problema cinemático directo consiente en saber cuál es la posición (x, y, z) y orientación (ϕ, θ, φ) que adopta el extremo del robot cuando cada una de las variables $(q_n \text{ par de rotacion})$ que limitan la orientación de sus articulaciones toma valores determinados, es así que para resolver un problema cinemático directo vendrá dado por las relaciones de posición y velocidad:

$$\begin{aligned} x &= f_x(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) & y &= f_y(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\ z &= f_z(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) & \phi &= f_\alpha(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \\ \theta &= f_\beta(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) & \varphi &= f_\gamma(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sum_1^n \frac{\partial f_x}{\partial q_i} \dot{q}_i & \dot{y} &= \sum_1^n \frac{\partial f_y}{\partial q_i} \dot{q}_i & \dot{z} &= \sum_1^n \frac{\partial f_z}{\partial q_i} \dot{q}_i \\ \dot{\phi} &= \sum_1^n \frac{\partial f_\phi}{\partial q_i} \dot{q}_i & \dot{\theta} &= \sum_1^n \frac{\partial f_\theta}{\partial q_i} \dot{q}_i & \dot{\varphi} &= \sum_1^n \frac{\partial f_\varphi}{\partial q_i} \dot{q}_i \end{aligned}$$

De esta manera se cumplen las ecuaciones para análisis cinemático, las curvas del análisis serán mostradas enseguida.

La posición del *efector final* en función del tiempo se muestra:

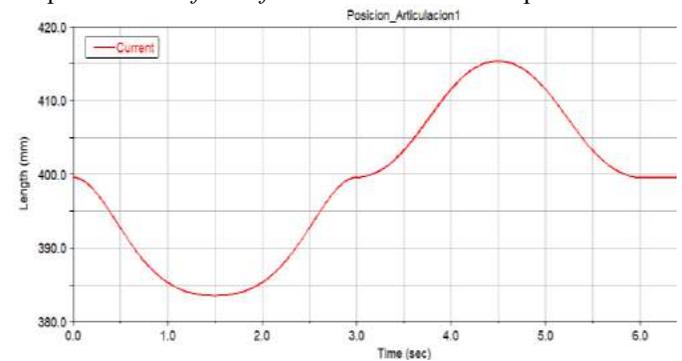


Fig.10. Posición del *efector final*

La velocidad angular del *actuador_1* en función del tiempo:

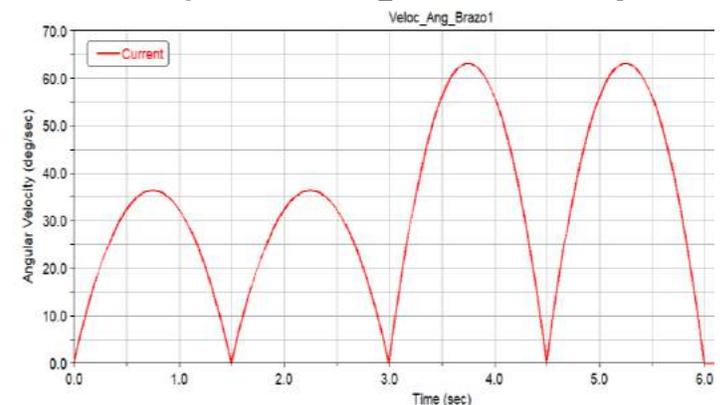


Fig.11. Posición del *actuador_1*

La Velocidad angular del *actuador_1*, *actuador_2*, *actuador_3* en función de la posición del *efector final* se muestra:

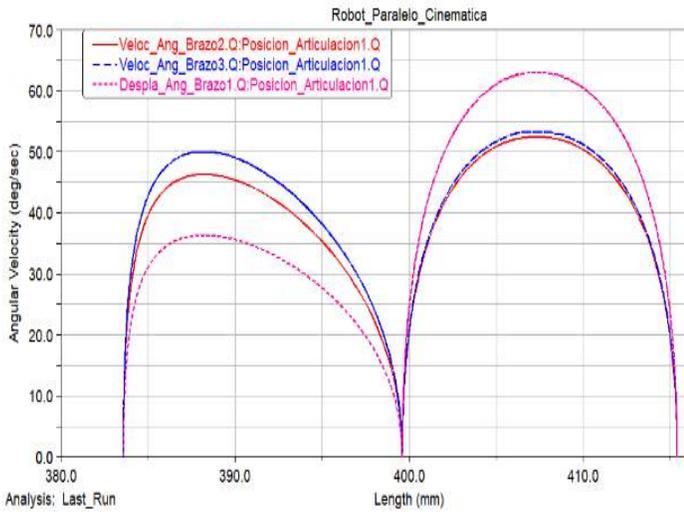


Fig.12. Velocidad angular de actuadores

La velocidad del *actuador_4* en función del tiempo se muestra:

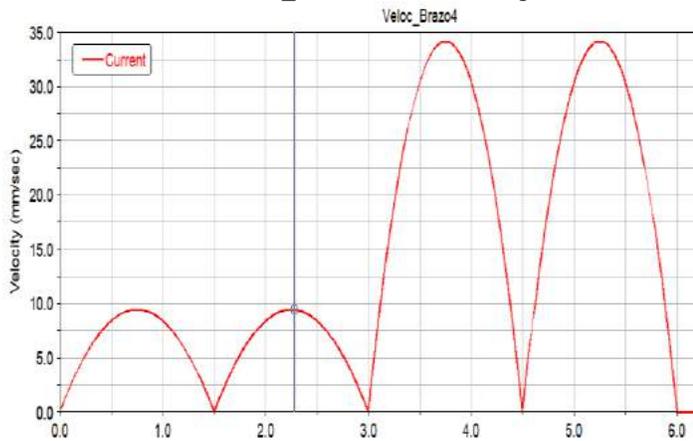


Fig.13. Velocidad angular actuador_4

La posición de la plataforma en función del tiempo se muestra:

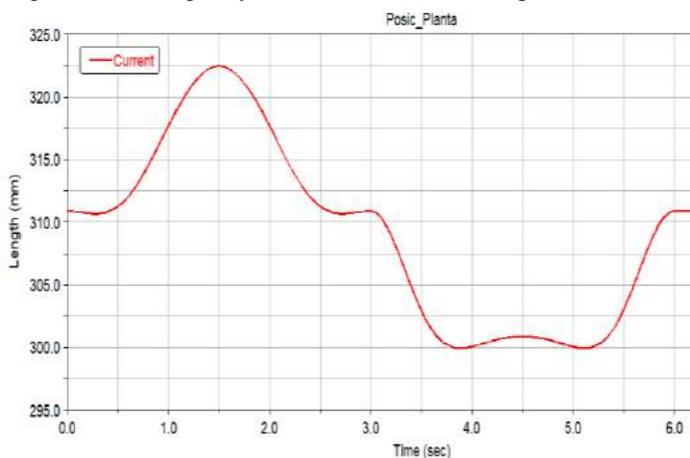


Fig.14. Posición de la plataforma

Velocidad del *actuador_4*, *actuador_5*, *actuador_6* en función de la posición del *segundo efector final* se muestra:

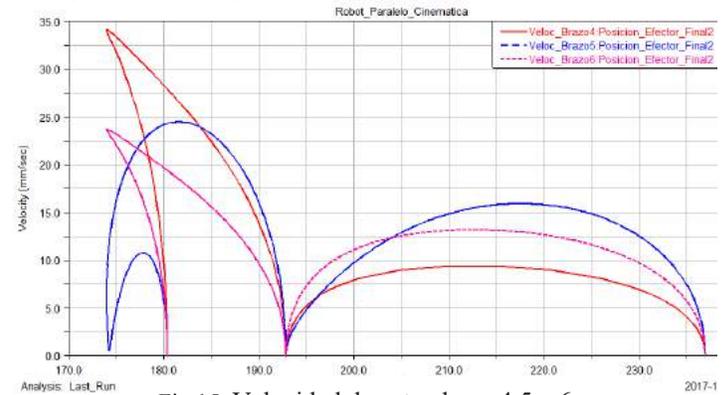


Fig.15. Velocidad de actuadores 4,5 y 6

Análisis cinemático completo de todos los *actuadores* en función de la posición del *efector final*.

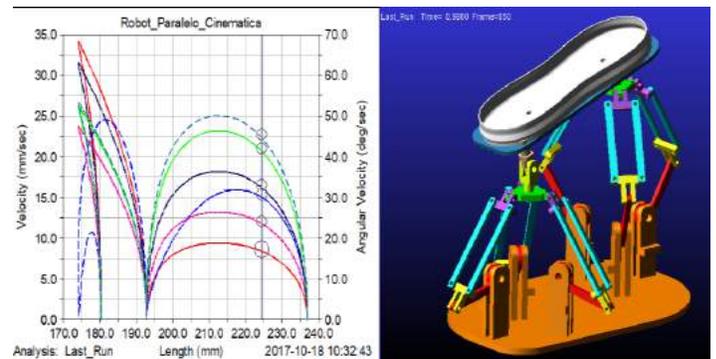


Fig.16. Fuente: Autor, MSC Software ADAMS.

El análisis cinemático del robot paralelo delta permite demostrar todos los rangos de movimiento que se requiere en el proceso de rehabilitación de tobillo, además de las velocidades y aceleraciones de rehabilitación, los tiempos y velocidades estipulados en el robot rehabilitador se encuentran dentro del rango permisible dispuesto por especialistas en rehabilitaciones de extremidades.

Posteriormente se muestra el análisis de resistencia mecánica a carga estática para poder determinar la deformación máxima permisible de robot paralelo y pueda soportar cargas al momento de cumplir con el procedimiento de rehabilitación.

C. Análisis de resistencia mecánica

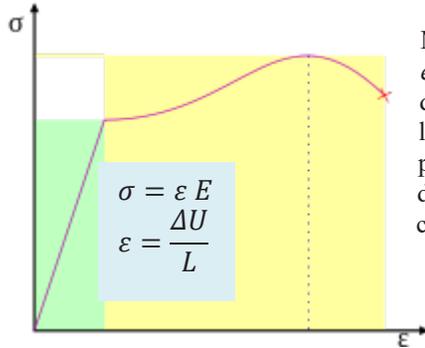
La teoría de sólidos deformables requiere generalmente trabajar con esfuerzos y deformaciones.

Esfuerzo (σ): Es la intensidad de fuerza (F) por unidad de área (A), ligada a un sistema de referencia, el esfuerzo es una magnitud tensorial calculable matemáticamente.

Método de elemento finito (MEF): Es un método numérico para el acercamiento de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales complicadas utilizado en diversos problemas de ingeniería [13], la simulación basa su cálculo mediante MEF.

Considerando un análisis en dos puntos nodales 1 — 2
 El cálculo de esfuerzos normales en cada nodo se da por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3) \text{ por lo tanto en cada nodo } \sigma_1 = \frac{R_1}{A} \quad \sigma_2 = \frac{R_2}{A} \quad (4)$$



Mediante la curva *esfuerzo-deformación* se definen las ecuaciones en la zona elástica Fig. 17, por lo que se puede determinar el método de cálculo nodal.

$$\sigma = \frac{E \Delta U}{L} \quad (5)$$

Por lo tanto: $R \approx F$
 $E = \text{modulo young}$
 $L = \text{longitud}$

Fig.17. Curva esfuerzo-deformación

$$\frac{E (U_1 - U_2)}{L} A = R_1 \quad \frac{E (U_2 - U_1)}{L} A = R_2 \quad (6)$$

En donde $\frac{E}{L} A = K$ es la rigidez axial (7)

Por tanto:

$$K (U_1 - U_2) = R_1 \quad (8)$$

$$K (U_2 - U_1) = R_2 \quad (9)$$

De esta manera se define la siguiente ecuación:

Matriz de Rigidez	Vector de deformación	Vector de Carga
$K \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$	$= \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} \quad (10)$

Se cumple:

$$\begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix}$$

Finalmente:

$$K \cdot U = F \quad (11)$$

La *ecuación 11* puede extenderse al análisis de varios puntos nodales de elementos sometidos a cargas.

Teoría de Von Mises-Hencky (teoría de energía de distorsión): Postula que la fluencia no es un fenómeno de tensión o compresión simples, sino que está relacionado con la energía proveniente de la distorsión del elemento de esfuerzo, para determinar la teoría de energía de distorsión se emplea la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3(\tau_{xy})^2} = \frac{S_y}{n} \quad (12)$$

Vanegas, 2009

En donde:

σ_x es el esfuerzo normal en la dirección x
 σ_y es el esfuerzo normal en la dirección y

τ_{xy} es el esfuerzo cortante en la dirección x y y
 S_y es la resistencia a la fluencia.

El análisis de resistencia realizado en el sistema de robots paralelos tipo delta consistió en una carga estática de 100N aplicado al robot, el cual está compuesto en su totalidad de Aluminio con Densidad = 2770 kg/m³, Tensile yield strength = Compressive yield strength = 2.8 x 10⁸ Pa., Tensile ultimate strength = 3.1 x 10⁸ Pa. En la Fig. 18 se observa la deformación debido a la carga de 100N, la simulación se la llevo a cabo gracias al software ANSYS y su plataforma *Workbench* en donde se puede verificar los rangos de deformación debido a la carga.

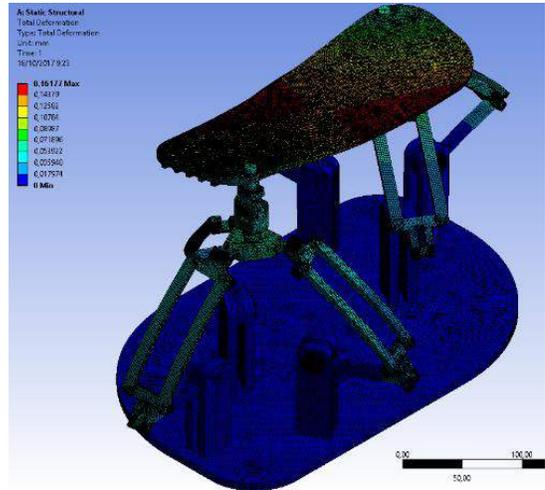


Fig. 18. Gráfico de la deformación del robot debido a la carga estática de 100N.

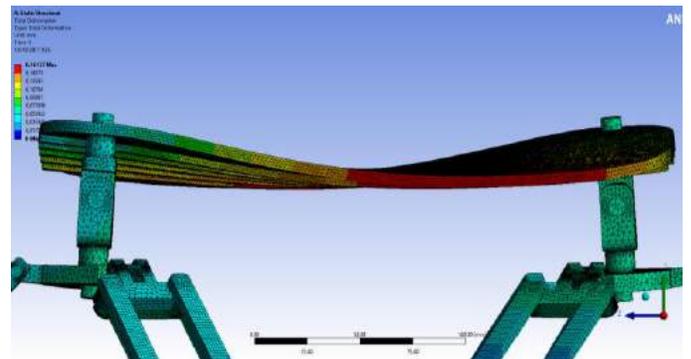


Fig. 19. Acercamiento a la deformación en la plataforma móvil.

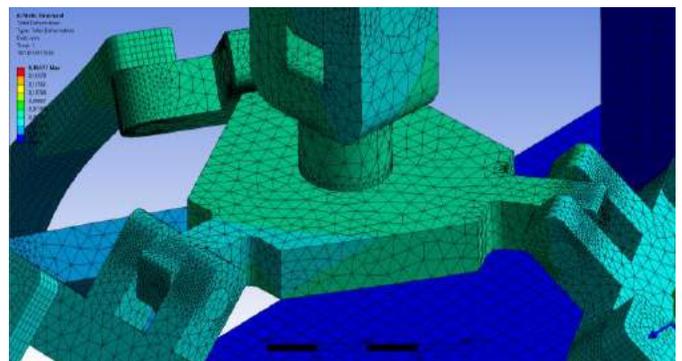


Fig. 20. Acercamiento a la deformación en una junta de unión.

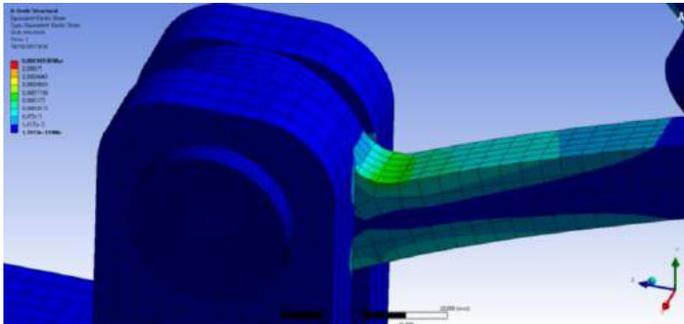


Fig. 21. Acercamiento a la concentración de esfuerzos en la sección más vulnerable del brazo robótico.

El análisis realizado cuenta con una buena calidad de malla y un cálculo muy aproximado a la realidad en el análisis de deformación de los diferentes elementos, la evaluación de la calidad de la malla se muestra en la Fig. 22 con los respectivos datos.

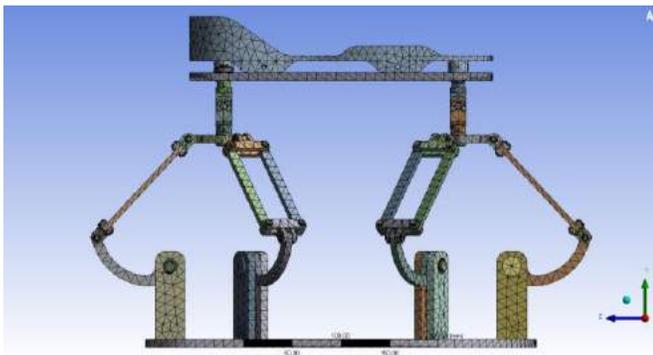


Fig. 22. Evaluación de la calidad de la malla.

El dato de la evaluación descrita se muestra en la Fig. 23 en donde se observa los datos sobre la evaluación de la calidad correspondiente a la simulación mecánica.

Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Element Midside Nodes	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Minimum Edge Length	9,5587e-002 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	
<input type="checkbox"/> Min	4,7812e-003
<input checked="" type="checkbox"/> Max	0,99982
<input type="checkbox"/> Average	0,46152
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,23527

Fig. 23. Datos de la calidad de la malla.

Para poder garantizar el análisis contamos con el valor del factor de seguridad de la simulación de resistencia, el valor se puede apreciar en la Fig. 24 en donde mostramos el rango entre el mínimo y máximo valor de coeficiente de seguridad.

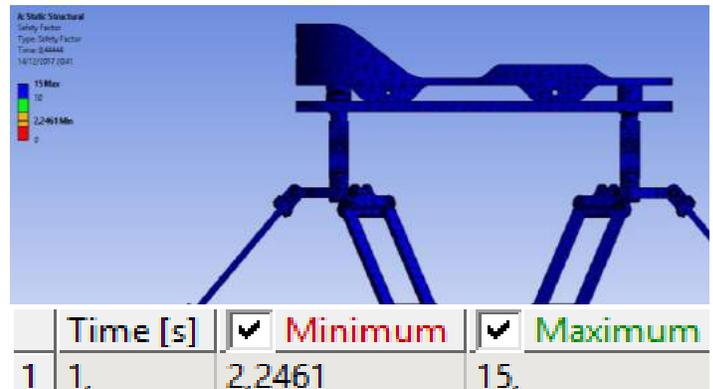


Fig. 24. Evaluación de la calidad del factor de seguridad.

De esta manera se cumple el análisis de resistencia mecánica del robot delta, en donde la máxima deformación se midió con una carga referencial de 100N y la composición de Aluminio con densidad=2770 kg/m3.

D. Análisis Dinámico

La dinámica relaciona las fuerzas que actúan sobre un objeto y el movimiento generado por el objeto debido a las fuerzas. El propósito del modelo dinámico de un robot es comprender la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas implicadas en el mismo (Barrientos, 2007).

Para el cálculo del modelo dinámico de un sistema de eslabones articulados, se utilizará la *formulación Lagrangiana* establecida por las ecuaciones mostradas.

$$L = E_c - E_p \quad (13)$$

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (14)$$

Donde:

L es la función Lagrangiana

E_c es la energía cinética

E_p es la energía potencial

q_i corresponde a las coordenadas de las articulaciones

τ_i es el torque aplicado sobre el grado de libertad q_i

Se realiza un estudio de simulación dinámica del robot paralelo delta, el objetivo de esta simulación es conocer qué tipo de actuador se requiere para lograr el movimiento del mismo en el proceso de rehabilitación. En la simulación se considera una carga estática de 100 N como valor referencial, la misma que se observa en la Fig. 25, un vector de color rojo dirigido hacia abajo, $P = (-100 \text{ j})$ N.

Las curvas descritas nos ayudan a conocer el torque necesario en el movimiento para poder realizar la etapa de control, la misma

que se realizara en un estudio posterior junto con la automatización del robot paralelo tipo delta para rehabilitación de tobillo.

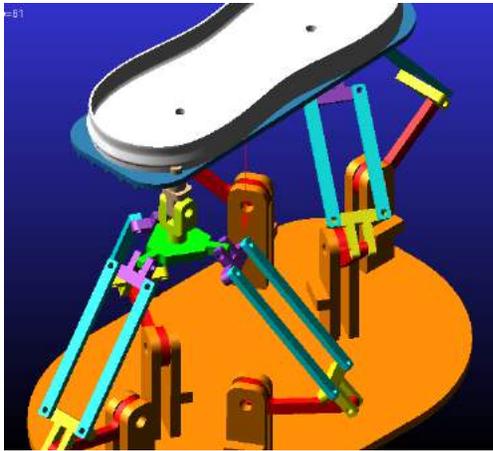


Fig. 25: Análisis dinámico del robot delta

A continuación, se muestra las curvas Torque-Velocidad de dos actuadores del robot, las curvas ayudaran a conocer el valor del torque necesario para lograr el movimiento.

Torque en función del tiempo del Actuator_01

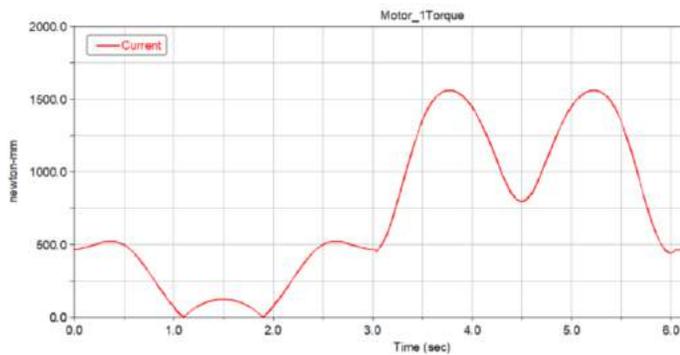


Fig. 26: Torque del Actuator_01

Torque en función del tiempo del Actuator_02

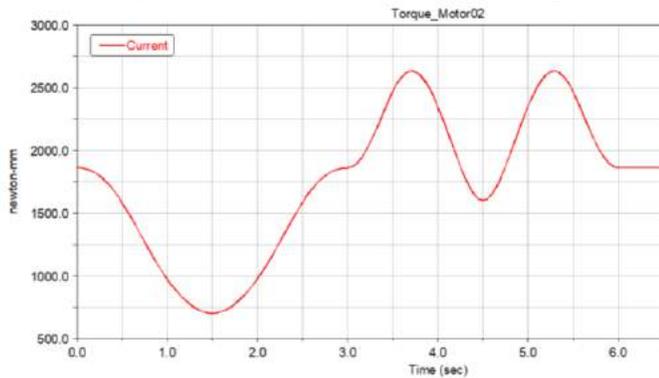


Fig. 27: Torque del Actuator_02

Con lo mostrado finaliza la etapa de análisis dinámico y finaliza el alcance de este estudio en el cual se deseaba mostrar la funcionalidad del robot y un estudio de movimiento en el cual pueda ser capaz de rehabilitar a las personas que sufran lesiones de tobillo.

III. RESULTADOS

A. *Resultados de análisis cinemático:* Los resultados que obtenemos del análisis cinemático son los siguientes: La velocidad angular máxima del *actuador_1* es de $63,15 \frac{deg}{s}$, la velocidad angular máxima del *actuador_2* es de $58,58 \frac{deg}{s}$, la velocidad angular máxima del *actuador_3* es de $53,46 \frac{deg}{s}$, en función de la posición del *efector_1* que es de $407,342 \text{ mm}$.

La velocidad máxima del *actuador_4* es de $34,0488 \frac{mm}{s}$, la velocidad máxima del *actuador_6* es de $23,7753 \frac{mm}{s}$ en función de la posición del *efector_2* que es de $174,029 \text{ mm}$, la velocidad máxima del *actuador_5* es de $24,5336 \frac{deg}{s}$, en función de la posición del *efector_2* que es de $181,4925 \text{ mm}$.

B. *Resultados de análisis de resistencia:* Los resultados del análisis de resistencia se muestran en la tabulación siguiente:

	Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum [mm]	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum [mm]
1	1,	0,	0,16177

Deformación máxima: 0,16177mm; *Deformación von mises:* $3,0938 \times 10^{-4} \text{ mm/mm MAX}$ - $1,7053 \times 10^{-13} \text{ mm/mm MIN}$.

Esfuerzo equivalente von mises: 21,912Mpa MAX - $1,2083 \times 10^{-8} \text{ Mpa MIN}$. Cabe recalcar que el valor estipulado de la carga de 100N es un valor referencial considerando el peso total de la pierna, ya que el robot rehabilitador soportaría una carga menor al momento de realizar la rehabilitación, se podría decir que se ha tomado un valor máximo de carga. El análisis realizado cuenta con una *calidad de malla* de 0,9998 lo cual muestra un cálculo muy próximo a la realidad. El *mínimo factor de seguridad* encontrado en la simulación es de 2.24 con lo cual garantizamos el análisis de resistencia mecánica.

C. *Resultados de análisis dinámico:* Los resultados del análisis dinámico mostraron que: El torque alcanzado por el *motor_01* es de $1559,7509 \text{ N mm}$. El torque alcanzado por el *motor_02* es de $2633,2061 \text{ N mm}$. Estos valores se dan en función del tiempo, siendo el máximo valor el del *motor_02*, este valor nos ayuda a conocer el torque necesario para el movimiento.

CONCLUSIONES

Concluimos que el robot cumple con todos los rangos de movimiento para rehabilitación de tobillo y estos son de 20-29° en *Dorsiflexión*, 38°-45° en *Flexión plantar*, 15-22° en *Inversión*, 10-17° en *Eversión*. La velocidad angular máxima alcanzada por el brazo robótico es de 64°/s y la velocidad lineal máxima alcanzado por el brazo robótico es de 34 mm/s. En el análisis de

resistencia tenemos que la *Deformación máxima*: 0,16177mm; *Deformación von mises*: $3,0938 \times 10^{-4}$ mm/mm MAX - $1,7053 \times 10^{-13}$ mm/mm MIN. *Esfuerzo equivalente von mises*: 21,912Mpa MAX - $1,2083 \times 10^{-8}$ Mpa MIN. El mínimo factor de seguridad encontrado es de 2.24 para garantizar el análisis de simulación mecánica.

El máximo *torque* alcanzado en la simulación fue del valor de 2633,2061 N mm el mismo que nos ayudara en una posterior comparación con otros momentos necesarios para establecer un proceso completo de la rehabilitación de tobillo para personas que necesiten de una recuperación.

APÉNDICE

El trabajo presentado es un estudio para el grupo de investigación y estudios de bioingeniería "GIEBY" de la escuela de ingeniería mecánica ESPOCH, en el centro de investigación se desarrollan trabajos dedicados a la bioingeniería, y este trabajo es la primera parte de un estudio de robots delta para rehabilitación de tobillo, en la segunda parte de este trabajo se analizara cálculos de movimiento y control automático del robot, para que sea capaz de cumplir la rehabilitación de forma automática.

REFERENCIAS

- Aracil, Rafael, Y Otros. 2006. *Robots paralelos: Máquinas con un pasado para una robótica del futuro*. págs. 16-28.
- Barrientos A., Peñin F. L., Balaguer C., Aracil R., (2007) *"Fundamentos De Robótica"* España editorial McGraw.Hill. Segunda edición.
- Benjamin, C. 2015. *Esguince de tobillo*. [En línea]. <http://arh.adam.com/content.aspx?productId=102&pid=7&gid=100209>.
- Beer P. Ferdinand & JOHNSTON E. Russell, (2013) *"Mecánica de Materiales"* editorial McGraw. Hill. Sexta edición.
- Budynas Richard G., & Nisbett J. Keith, (2008) *"Diseño en ingeniería mecánica de Shigley"* editorial McGraw. Hill. Octava edicion.
- Hamrock J. Bernard, Jacobson B.O, Schmid Steven, (2000) *"Diseño de elementos de máquinas"* editorial McGraw. Hill.
- Kumar Saha S., (2010) *"Introducción a la robótica"* México editorial McGraw.Hill. Segunda edición.
- Kelly R., Santibáñez V., (2003) *"Control de Movimiento de Robots Manipuladores"* España Editorial PEARSON educación, S.A. Primera edición.
- Merlet, J P. 2006. *Parallel Robots*. Second. Dordrecht: Springer.
- Moore, Keith L, Dalley, Arthur F Y Agur, Anne M. 2010. *Anatomía con orientación clínica*. Sexta. Barcelona: Wolters Kluwer.
- Norton L. Robert, (2009) *"Diseño de maquinaria"* Editorial McGraw. Hill. Cuarta edición.
- Peña C; Martínez E; Cárdenas P. (2011) *"Optimización dimensional de un robot paralelo tipo delta basado en el menor consumo de energía"* Bogota.
- PILAR Ariza M., PÉREZ Andrés S. *"Método de los elementos finitos: introducción a ANSYS"* Sevilla, 2004.
- Saladín, Kennerh. 2013. *Anatomía y Fisiología. La Unidad entre Forma y Función*. Sexta. México: Mc Graw Hill.
- Silva, Luis Ángel. 2005. *Control visual de robots paralelos*. Análisis, desarrollo y aplicación a la plataforma robotenis. Madrid: s.n.
- Simmons H. Colin., & MAGUIRRE Dennis, (2004) *"Manual de dibujo en ingeniería"* Editorial elsevier. Segunda edicion.
- S.H Avner. (1979) *"Introducción a la metalurgia física"*, México editorial McGraw.Hill. Segunda Edición.
- Tsoi, Y Y Xie, S. 2010. *Design and control of a parallel robot for ankle rehabilitation*.
- Vanegas L. Useche, (2009). *"Conceptos básicos sobre el diseño de máquinas"* Primera edición.
- Vivas, Andrés. 2006. *Robótica paralela: Aplicaciones industriales, modelado y control*.
- Wang, Congzhe, Yuefa, Fang Y Guo, Sheng. 2013. *Design and Kinematical Performance Analysis of a 3-RUS/RRR Redundantly Actuated Parallel Mechanism for Ankle Rehabilitation*.

Análisis de inclusiones, microestructura y tamaño de grano en un acero AISI 1018

Christopher Acosta, Julio Villavicencio
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.

christopher.acosta12@hotmail.com, julio.villavicenco@esPOCH.edu.ec

Resumen

Este reporte se enfoca en el análisis de las inclusiones, microestructuras y tamaño de grano promedio de un eje de material AISI 1018 que formaba parte de un aerogenerador. Varias normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) fueron usadas, entre ellas la norma ASTM E3, ASTM E45, ASTM E407 y ASTM 384. La norma ASTM E112 se empleó para determinar el tamaño de grano de la microestructura por los métodos de comparación, intercepción y planimétrico.

El análisis de inclusiones demostró que el material presenta óxidos de tipo globular (tipo D). Usando un microscopio electrónico de escaneo (SEM) y espectrometría de energía dispersa (EDS por sus siglas en inglés) se demostró que estos óxidos globulares contienen silicio, aluminio y oxígeno. En adición, la microestructura observada en el acero AISI 1018 está compuesta de pequeñas colonias de perlita en una matriz ferrítica. Los porcentajes estimados para estas fases son 78 % de ferrita y 22% de perlita. Adicionalmente, el tamaño de grano de este acero varía entre 8 determinado por el método de comparación y 9 usando los métodos de intercepción y planimétrico. Por otro lado, la dureza Vickers medida en la fase ferrítica fue 197 HV y 257 HV en la fase perlítica.

Debido al tamaño de grano observado, la dureza medida y las propiedades mecánicas investigadas en base al porcentaje de carbono y las fases del acero, se ratifica la muy buena ductilidad y baja dureza que este material presentaría.

Palabras Claves— AISI 1018, dureza Vickers, EDS, inclusiones, microestructura, tamaño de grano.

Abstract

This report focuses on the analyses of inclusion content, microstructure and average grain size of an AISI 1018 axle that was part of an aerogenerator. The specimen was prepared and tested using several standards such as ASTM E3 to prepare the specimen, ASTM E45 to determine the inclusion content of Steel through the microscopical Method A (Worst Fields). The standard ASTM E407 was also used to determine the chemical solution to be used in etching the metal. Finally, the standard ASTM E112 was utilized to determine the average grain size, by comparison, intercept and planimetric procedures.

Inclusion content Type D or globular oxide type was observed in the metal. Using a Scanning Electron Microscope (SEM) and the energy disperse spectrometry data acquisition determined that the inclusions have aluminum, silicon, and oxygen. Even though it has been said that this kind of inclusions would benefit several properties like wear and abrasion resistance as well as corrosion resistance, the report cannot assume this fact until a new study could be conducted. The new study should focus on determining the influence of aluminum and silicon on the mechanical properties of the metal.

The microstructure of the metal revealed pearlite colonies in a ferritic matrix. The estimated percentage of ferrite and pearlite are 78% and 22%. Additionally, the grain size average estimated varies between 8 for the comparison procedure and 9 for the intercept and planimetric procedures. Due to the low carbon content and a higher ferrite content, it is possible to conclude that this material would present high ductility and low hardness.

I. INTRODUCCIÓN

Los aceros de transmisión como el AISI 1018 son elementos de maquina muy utilizados en la industria. Sin embargo, muy poco se conoce sobre el tipo de inclusiones, microestructura y tamaño de grano que este material presenta. Estas tres características son de mucha importancia y determinan el desempeño del material bajo un cierto régimen de trabajo, así como también sus propiedades mecánicas y químicas.

En primer lugar, los aceros en su gran mayoría presentan muchos elementos que aportan cualidades diferentes al material, bien sea para purificarlos, mejorar su resistencia u otras características. Entre los elementos que generalmente se encuentran están: manganeso, fosforo, azufre, nitrógeno, silicio, hidrogeno, oxigeno, aluminio entre otros (Dueñas, 214).

Cuando varios de los elementos mencionados anteriormente sobrepasan el límite de solubilidad del solvente, se pueden formar compuestos químicos que se conocen como inclusiones y que se los encuentran comúnmente en casi todos los aceros (Norguez, 2002). La Norma ASTM E45 provee una serie de métodos macroscópicos y microscópicos para determinar la presencia de estas inclusiones. Uno de los métodos microscópicos más usados para determinar inclusiones no metálicas es el Método A o de los peores campos (Worst Fields). Este método, que será usando en este reporte, clasifica las inclusiones no metálicas en 4 categorías. Estas categorías se indican en la Tabla I.

TABLA I
TIPO DE INCLUSIONES SEGÚN LA NORMA ASTM E45

TIPO A	SULFUROS
TIPO B	OXIDO DE ALUMINIO
TIPO C	SILICATOS
TIPO D	ÓXIDOS DE OTROS TIPOS

Adicionalmente, la microestructura y el tamaño de grano del acero tienen una relación directa con las propiedades mecánicas que podrían presentarse en el material, por ejemplo: la dureza, resistencia a la tracción y al impacto. Con respecto a la determinación del tamaño de grano, este reporte considera tres métodos: el método de comparación, intercepción y el método de Jeffries o planimétrico de acuerdo con los procedimientos de cálculo establecidos en la norma ASTM E112.

En base a estos antecedentes, se plantea el objetivo general y los objetivos específicos de este reporte:

A. Objetivo General

Identificar las inclusiones presentes y realizar el análisis metalográfico y medición del tamaño de grano en un acero de transmisión AISI 1018.

B. Objetivos específicos

- Determinar cualitativa y cuantitativamente los

elementos presentes en un acero AISI 1018 a través de un análisis de espectrometría.

- Analizar el tipo de inclusiones presentes en el acero en estudio mediante el método microscópico “A” expresado en la norma ASTM E45.
- Determinar los elementos químicos que componen las inclusiones no metálicas utilizando EDS.
- Determinar las fases metalográficas presentes en el acero en estudio y analizar su microestructura.
- Medir el tamaño de grano de la microestructura observada en el material de acuerdo con la norma ASTM E112.
- Medir la dureza Vickers del material en las fases metalográficas presentes.

II. MÉTODOS

A. Materiales y Equipo

Los materiales y equipos usados en la elaboración de esta investigación fueron:

- Banco de lijas y pulidora
- Acero de transmisión AISI 1018 de 25 milímetros de diámetro y 4 centímetros de altura.
- Nital al 4%
- Microscopio Óptico
- Microscopio Electrónico JEOL JSM-IT100
- Espectrómetro Bruker Q2 ION

B. Procedimiento

1. Obtención del material

El eje utilizado en este reporte corresponde a un eje de un aerogenerador. La Figura 1 muestra una parte del eje que será utilizado para esta investigación.



Fig. 1. Eje de acero AISI 1018. Diámetro 25 mm y altura 40 mm

2. Preparación de la sección transversal del eje

El material fue cizallado y nivelado previo a proceder con el lijado y pulido como se recomienda en la norma ASTM E3. Una vez completado el proceso de lijado, el eje paso a la pulidora donde se obtuvo un acabado tipo espejo de la sección transversal que será objeto de estudio y análisis.

3. Marcado del área para el escaneo de inclusiones

Un área de 160 milímetros cuadrados fue inscrita sobre la superficie transversal pulida para realizar el barrido que pueda identificar la zona con una mayor presencia de inclusiones como lo indica la norma ASTM E45. Una vez marcada la zona de escaneo, el eje fue posicionado sobre un microscopio óptico realizando observaciones a una

ampliación de 100x. Adicionalmente, se usó el SEM para determinar el tipo de inclusiones presentes en el material usando EDS.



Fig. 2. Eje de acero AISI 1018. Área de escaneo de las inclusiones (10mm x 16mm)

4. Ataque químico y observación de la microestructura.

Para el ataque químico se preparó una mezcla de ácido nítrico y alcohol (Nital) de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM E407. El tiempo en el cual se mantuvo el químico sobre la superficie pulida fue 10 segundos. Una vez realizado el ataque se ubicó el eje nuevamente en el SEM para observar su microestructura.

5. Medición del tamaño de grano

Sobre el eje atacado químicamente, también se observó su microestructura con el fin de realizar las mediciones del tamaño de grano utilizando tres métodos propuestos en la norma ASTM E112. En primer lugar, se realizó el método de comparación y un microscopio óptico a 100x de ampliación. A continuación, se realizó el método de intersección utilizando una micrografía en la que se puedan contar a menos 50 granos y la siguiente ecuación:

$$G = (6.643856 \log_{10} l) - 3.288 \quad \text{Ec.1}$$

Donde, *l* es la longitud de grano promedio en milímetros.

Finalmente, también se realizan los cálculos para determinar el tamaño de grano por el método de Jeffries o planimétrico con las siguientes ecuaciones:

$$N_A = f(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2}) \quad \text{Ec.2}$$

$$G = 3.321928 \log(N_A) - 2.954 \quad \text{Ec.3}$$

Donde *f* en la Ec.2 corresponde al factor entre el aumento del lente con los granos presentes por cada milímetro cuadrado (ASTM E112,2013). La ecuación 4 muestra la fórmula para obtener el factor *f* dependiendo de la ampliación seleccionada en el microscopio óptico.

$$f = \frac{M^2}{5000} \quad \text{Ec.4}$$

Donde *M* es la magnificación del microscopio óptico.

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Espectrometría

El espectrómetro Bruker Q2 ION arroja los elementos químicos y porcentajes que se presentan en las Tabla II.

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO EN ESTUDIO
AISI 1018

Elemento	Porcentaje (%)
C	0.180
Si	0.150
Mn	0.408
Mo	0.016
Ni	0.046
Cu	0.099
Al	0.049
Fe	99.02

B. Comparación de las inclusiones

La micrografía que se puede observar en la Figura. 3 presenta inclusiones presentes en el acero en análisis. El tipo de inclusiones que se puede apreciar son relativamente pequeñas, en su gran mayoría con aspecto circular y separadas unas de otras por espacios considerables. Resultados similares fueron reportados para un Acero AISI 1018 (Solís, González y Bolaños, 2011).

En la Figura 4, se puede observar el negativo de una micrografía tomada con un microscopio electrónico a 100x para un acero AISI 1018 de tubería. En esta imagen se pueden observar una serie de puntos blancos correspondientes a inclusiones no metálicas. Adicionalmente, en la Figura 5 se expone otra micrografía de un acero AISI 1018 sin tratamiento térmico y sin ataque químico (Alcina, 2013).

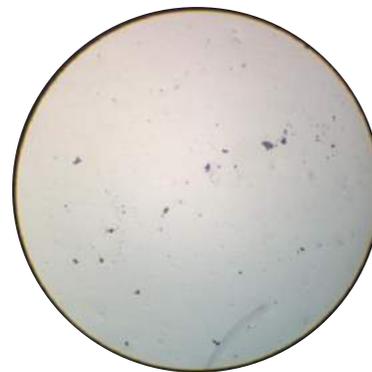


Fig. 3. Acero AISI 1018. Ampliación 100x. Sin ataque químico



Fig. 4. Micrografía de Tubería de Acero al carbono AISI 1018. Microscopio electrónico. Ampliación 100x (Solís, González y Bolaños, 2011).

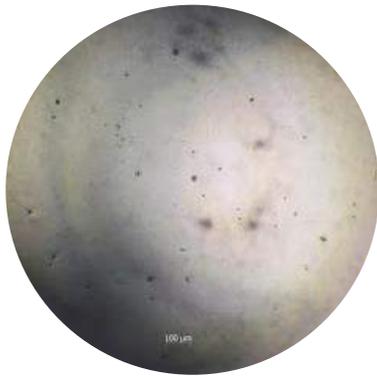


Fig. 5. Micrografía de Acero al carbono AISI 1018. Ampliación 100x. Sin ataque químico (Alcina, 2013).

Comparando las Figuras. 3, 4 y 5 podemos observar el mismo patrón de inclusiones dispersas sobre la superficie del acero. Realizando el análisis comparativo de acuerdo con los lineamientos de la norma para la determinación del contenido de inclusiones en el acero (ASTM E45, 2013) el tipo de inclusiones corresponden a las de Tipo D de la serie fina o también denominados óxidos globulares de otros tipos.

C. Análisis morfológico de las inclusiones presentes

Las inclusiones presentes en la sección transversal del eje son de Tipo D correspondiente a óxidos de otros tipos y cuya severidad es de $2\frac{1}{2}$, tal como se indica en la Figura 6 y cuyo número de inclusiones promedio es 20 a una ampliación de 100x.

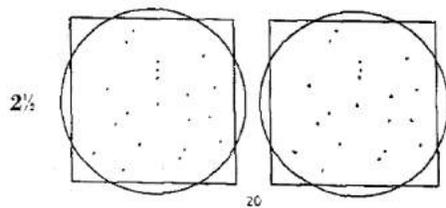


Fig. 6. Modelos de Inclusiones Tipo D tamaño $2\frac{1}{2}$ (ASTM E45, 2013).

Al contrario de lo observado en la Figura 3, también se han reportado en aceros AISI 1018 la presencia de inclusiones con elementos tales como Sn, Si, Mn, óxidos de calcio y aluminio (Norguez, Balderas y Robert, 2002).

D. Determinación de los elementos químicos presentes en el acero AISI 1018 mediante EDS

Es fundamental determinar el tipo de elementos químicos presentes en las inclusiones encontradas en acero AISI 1018. Las Figuras 7 y 8 se muestran los resultados del análisis realizado en el SEM utilizando la técnica EDS. En la Figura 7 se puede observar una de las inclusiones presentes en el acero AISI 1018 a 35000x de ampliación en el plano [001]. Esta inclusión tiene una forma alargada en uno de sus ejes principales. La Figura 8 por otro lado nos indica la presencia de aluminio y oxígeno que en su forma combinada podría tratarse de un óxido de aluminio.

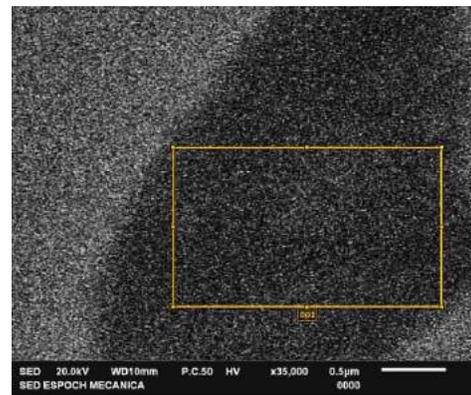


Fig. 7. Inclusión presente en la sección transversal de un eje de acero AISI 1018. Plano [001]. Microscopio electrónico de escaneo. Ampliación 35000x

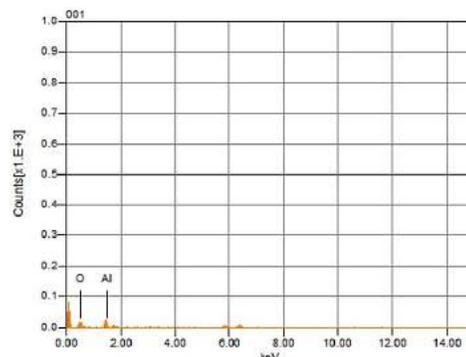


Fig. 8. EDS análisis de la inclusión de la figura 7. Presencia de Al y Oxígeno en la región de análisis.

De igual manera, el análisis a través de la técnica EDS en otra inclusión se presenta en las Figuras 9 y 10. La Figura 9 nos muestra una inclusión a una ampliación de 55000x en el plano [001]. Esta inclusión es más pequeña que la observada en la Figura 7. Esta inclusión presenta una morfología redonda. Por otro lado, la Figura 10 genera como resultados la presencia de aluminio, silicio y oxígeno.

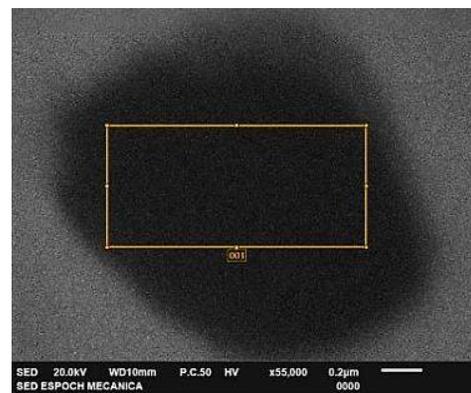


Fig. 9. Inclusión presente en la sección transversal de un eje de acero AISI 1018. Plano [001]. Microscopio electrónico de escaneo. Ampliación 55000x

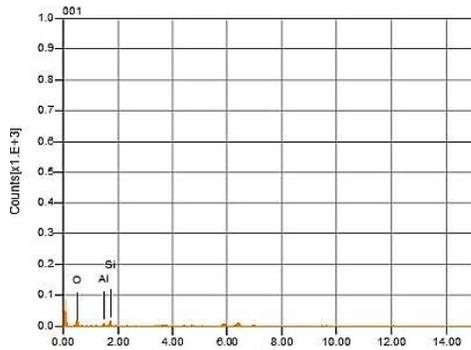


Fig.10. EDS análisis de la inclusión de la Figura 9. Presencia de silicio, aluminio y oxígeno en la región de análisis.

E. Efectos de las inclusiones encontradas en las distintas propiedades del material

La combinación de los elementos presentes en el acero AISI 1018 juegan un papel importante sobre las propiedades mecánicas y físicas del material. De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de EDS, las inclusiones presentes contienen particularmente aluminio, silicio y oxígeno. Combinaciones de estos elementos como el óxido de aluminio incrementarían la dureza y promoverían la resistencia al desgaste y a la abrasión (Norguez, Balderas y Robert, 2002). Por otro lado, combinaciones de silicio generarían un incremento en la resistencia a la corrosión (Guzmán, 2013).

F. Análisis metalográfico del acero

1. Microestructura y tamaño de grano

La microestructura del acero en análisis se presenta en la Figura 11. Puede apreciarse claramente dos fases compuestas de pequeñas colonias de perlita en una matriz ferrítica. Los porcentajes de ferrita y perlita estimados corresponden a 78% y 22% respectivamente.

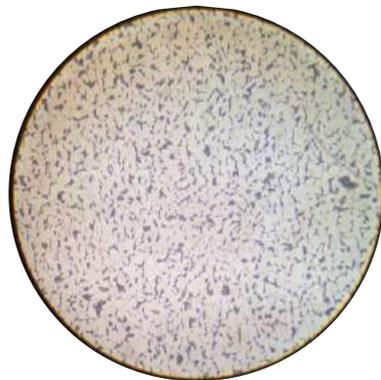


Fig. 11. Acero AISI 1018. Ampliación 100x. Atacado químicamente con Nital 4% en 10 segundos.

Adicionalmente, en las Figuras 12, 13, 14 y 15 se pueden observar micrografías tomadas con el SEM. En la Figura 12 se observa la microestructura ferrítica (zonas oscuras) y perlítica (zonas claras). Estas observaciones pueden ser confirmadas en la Figura 13 donde se ha utilizado una resolución diferente para resaltar las áreas ferríticas (color verde claro) y las áreas perlíticas (color anaranjado). Un

acercamiento a la zona perlítica se puede observar en la Figura 14 donde las placas de cementita se aprecian claramente. Las separaciones entre placas de cementita (Fe_3C) indican distancias que varían desde 0,164 a 0,401 μm . Esto corresponde a una configuración conocida como perlita fina correspondiente al enfriamiento en aire o conocido también como normalizado. Este tratamiento térmico que sufre el material es muy común en el proceso de manufactura de este acero.

Finalmente, en la Figura 15 se puede observar las dimensiones de un grano perlítico que tiene un ancho de 12,054 μm y un largo determinado por una diagonal de 29,169 μm . De esta manera se confirma la presencia de grano perlíticos pequeños presentes en una matriz ferrítica.

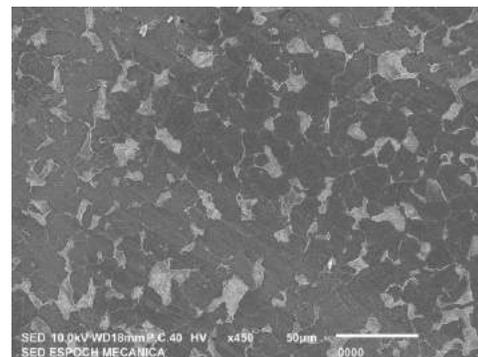


Fig. 12. Micrografía electrónica de un acero AISI 1018. Ampliación 450x. Atacado químicamente con Nital 4% en 10 segundos.

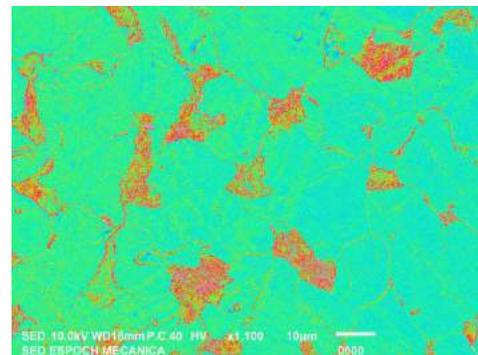


Fig. 13. Micrografía electrónica de un acero AISI 1018. Ferrita (verde) y Placas de cementita (rojo). Ampliación 1100x.

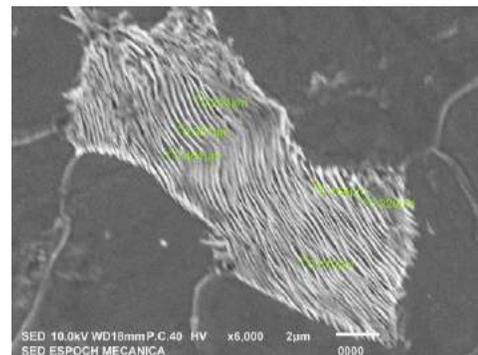


Fig. 14. Micrografía electrónica de un acero AISI 1018. Grano perlítico. Ampliación 6000x.

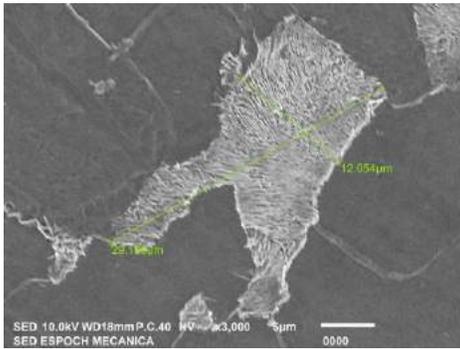


Fig. 15. Micrografía electrónica de un acero AISI 1018. Dimensiones de un grano perlítico. Ampliación 3000x

Para la medición del tamaño de grano se utilizaron los métodos de comparación, intercepción y planimétrico. En vista de la poca presencia de perlita en la microestructura, esta fase es despreciada y se considera a la microestructura como una sola fase ferrítica. Con este antecedente, el método de comparación resulto en un tamaño de grano 8. El método de intersección y planimétrico obtuvieron un tamaño de grano 9. Este último es mayor al obtenido por el método de comparación, sin embargo, por la precisión de los métodos de intercepción y planimétrico se toma este último con el más preciso. Un tamaño de grano 9 le brindaría al material una buena ductilidad y resistencia al impacto. Los resultados se presentan en la Tabla III.

TABLA III
TAMAÑO DE GRANO DE LA FASE FERRÍTICA EN UN ACERO AISI 1018 DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM E112

MÉTODO DE MEDICIÓN	TAMAÑO DE GRANO (G)
COMPARACIÓN	8
INTERCEPCIÓN	9
PLANIMÉTRICO	9

2. Propiedades mecánicas esperadas para el material en análisis

Las propiedades mecánicas esperadas para un acero con 0.18 % de carbono se resumen en la Tabla IV. En base a la información de la Tabla IV y las fases observadas en la Figura 11, se estima que el acero en estudio presentaría una muy buena ductilidad debido a la gran presencia de ferrita.

TABLA IV
PROPIEDADES MECÁNICAS ESPERADAS PARA UN ACERO AISI 1018 CON ENFRIAMIENTO RÁPIDO (ASKELAND, 2004)

PROPIEDAD MECÁNICA	VALOR
RESISTENCIA A LA CEDENCIA (PSI)	50250
RESISTENCIA MECÁNICA A LA TENSIÓN (PSI)	64000
% DE ALARGAMIENTO	36

Por otro lado, se realizaron mediciones de dureza Vickers a granos ferríticos y perlíticos de acuerdo con la norma ASTM E384. Los resultados de estas mediciones se presentan en la Tabla V. Esto confirma que la dureza no es

tan alta principalmente debido a la baja cantidad de perlita distribuida en la microestructura.

TABLA V
DUREZA VICKERS EN UN ACERO AISI 1018

FASE	DUREZA VICKERS
FERRITA	197
PERLITA	257

IV. CONCLUSIONES

El propósito de esta investigación fue determinar el tipo de inclusiones, microestructura y tamaño de grano en un acero AISI 1018 utilizando varias normas ASTM. Basados en los resultados y discusión, las siguientes son las conclusiones de este trabajo:

- El material presento inclusiones dispersas conocidas como inclusiones globulares tipo D o también denominadas otros óxidos, sin embargo, un análisis a detalle de los componentes químicos de estas inclusiones mediante EDS mostro elementos como aluminio y silicio. Esto indicaría que probablemente el acero podría presentar una mezcla de inclusiones que no precisamente son solo tipo D.
- Inclusiones como óxidos de aluminio y silicio fueron detectadas en el material. Si bien existen investigaciones que le asignan ventajas a la presencia de estas inclusiones, es fundamental continuar con otro estudio para determinar científicamente la influencia de la severidad y tipo de inclusiones en la resistencia mecánica, a la fatiga, corrosión y dureza del material.
- Los porcentajes de ferrita y perlita determinados para este estudio corresponden a 78 y 22 % respectivamente. La baja cantidad de perlita se ve limitado por la poca presencia de carbono en este acero, lo cual limita la formación de perlita y la posible aplicación de algún tratamiento térmico al material.
- Por las características encontradas en el material como por ejemplo presencia limitada de perlita en la microestructura y un tamaño de grano fino (de 8 a 9), el acero AISI 1018 exhibiría una muy buena tenacidad y ductilidad que debería ser confirmada con ensayos de tracción y doblado.

REFERENCIAS

- Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2006). *The science and engineering of materials* (p. 198). Toronto: Thomson.
- ASTM, E. (2007). E 3-11: *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. Annual Book of Standard.*
- ASTM, E. (2007). E 45-13: *Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel.*

ASTM, E (2013). E 112-13: *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*.

ASTM, E (2011). E 384-11: *Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials*.

Carrera, C. R. 2014, *Desarrollo e Implementación de una Formulación con base al potencial de Boro, para el proceso de Borurización en caja de un acero AISI 1018*, Instituto Politécnico Nacional, México.

Callister W., 2007, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales (1st ed.)*. Department of Materials Science and Engineering, University of Utah

Dueñas, A. M. 2014, *Análisis de la evaluación microestructural de los aceros grado maquinaria (AISI 4140 y AISI 9840) durante el temple en un lecho fluidizado alúmina - aire*, Instituto Politécnico Nacional, México.

Guzmán, C. F. 2013, *Análisis de aceros por microscopía óptica*, Instituto Politécnico Nacional, México.

Haduch Z., & Guajardo J., 2007, *Aceros de construcción de propiedades especiales*, 8vo. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cusco – Perú.

Llulluna F., 2014, *Procesamiento de imágenes mediante software libre PYTHON para análisis metalográfico en aceros de bajo contenido de carbono*, Politécnica Nacional, Quito - Ecuador.

Norguez M., Balderas J. & Robert T., 2002, *Mechanical properties of low carbon steels alloyed with tin and other residual elements*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Alcina I., 2013, *Metalografía, Fractografía y Análisis en Situaciones de Producción*.

Solís A., González J. & Bolaños E. 2011, *Empleo de Procesos Digital de Imágenes para la Determinación de las Causas de Fallas en el Acero al Carbono SAE 1018*, México.

Desarrollo del control de trayectoria para un brazo robot de 5 GDL simulado y controlado por el MCU C2000 PICCOLO F28027F

Vera, John., Zabala, Luis., Núñez, Christiam y Jácome, Jairo.
johnstrife23@gmail.com, luis.zabala@esPOCH.edu.ec, kr.i.27@hotmail.com y jjacome@esPOCH.edu.ec
ESPOCH / CISNEROS

Resumen— El objetivo del presente trabajo es el de realizar el control cinemático que genera la trayectoria de la simulación de un brazo robot de 5 GDL antropomórfico (manipulador con solo ejes de revolución) con fines educativos y de pruebas por simulación como una de las etapas en la ingeniería y con objeto de dar relevancia este tipo de control. Por medio del uso de herramientas informáticas como MatLab para crear scripts con los diferentes cálculos para el control cinemático de la trayectoria del brazo robot de cadena abierta y obtener sus singularidades.

Con el uso de la cinemática directa e inversa, matriz Jacobiana y su determinante generar la trayectoria en la que es posible que trabaje un brazo robot en un área de trabajo determinado. Ayudando de mejor manera a entender a los profesionales y estudiantes como la matemática y física gobiernan el funcionamiento del manipulador o brazo robot y que por medio de simulaciones se puede conseguir de mejor manera un correcto comportamiento. Controlar una simulación realizada en freebasic de un brazo robot de 5 GLD [5].

También se busca incentivar de una manera gráfica el entendimiento de los brazos robots para su investigación, implementación y creación de estos tipos de robots en el Ecuador.

Índice de Términos— Brazo robot, control cinemático de trayectoria, manufactura robótica, robótica industrial y robot manipulador.

I. INTRODUCCIÓN

La robótica a lo largo de la historia se ha desarrollado por una necesidad o por la creación de un producto como un juguete, pero en materia de ingeniería e industria es para facilitar procesos repetitivos, complejos o peligrosos. Siendo estos robots imagen de la anatomía del ser humano (brazos, piernas, etc.)

o de los animales que existen en nuestro entorno. Hoy por hoy las industrias que usan la mayor cantidad de robots es la automotriz ayudando a que el producto final trate de tener un muy bajo porcentaje de fallas y tiempos de producción.

El estudio y creación de un brazo robot inmiscuye varias ramas de la ingeniería como es la electrónica, eléctrica, mecánica, control, informática, entre otras. Siendo una materia de estudio multidisciplinar.

La investigación que se presenta en este documento hace relación a una problemática en la industria que es los accidentes o enfermedades profesionales como son los procesos repetitivos o monótonos que causan que el empleado o servidor de la empresa se descuide provocando que pueda suceder un accidente. Así como pérdidas para la empresa es por eso que se hace referencia del funcionamiento exclusivo de los brazos robots que pueden funcionar tanto en la industria como en el hogar.

Aplicando el estudio de la ingeniería por medio de simulación se puede crear un brazo robot para su posterior desarrollo, usando el software MATLAB como herramienta principal para la simulación y control cinemático del brazo robot fase que calcula la trayectoria del manipulador.

II. ESTUDIO DEL BRAZO ROBOT

A. Fase de revisión

Programar un controlador capaz de controlar una simulación de un brazo robot desarrollado en freebasic como un proyecto anónimo para el

entendimiento matemático de la cinemática inversa. Previamente desarrollado en MatLab los cálculos, algoritmo que suaviza la trayectoria del brazo robot y una simulación de cómo debe tender el movimiento.

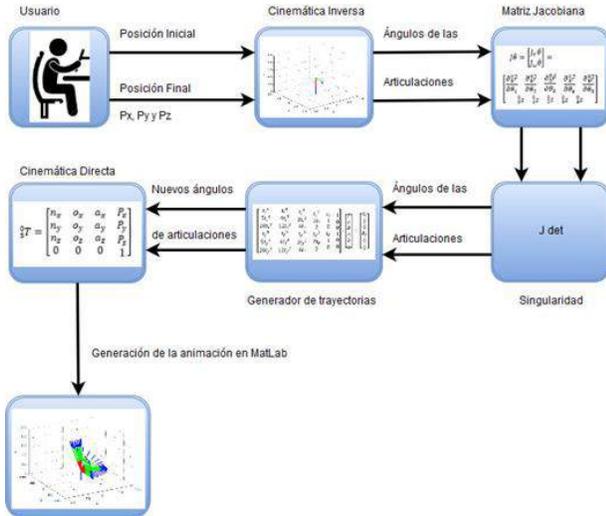


Figura 1, Diagrama de control en MATLAB

B. Fase de desarrollo matemático

En la determinación de la posición y orientación para el efector final por medio de los ángulos de las articulaciones del brazo robot, es por medio de la matriz homogénea por el método estándar de Denavit – Hartenberg, es parte de la cinemática directa [1].

i	a_i	α_i	d_i	θ_i
$1(J_1)$	0	$-\frac{\pi}{2}$	200	θ_1
$2(J_2)$	250	0	0	θ_2
$3(J_3)$	300	0	0	θ_3
$4(J_4)$	0	$-\frac{\pi}{2}$	0	θ_4
$5(J_6)$	0	0	150	θ_5
$T(Tool)$	0	0	d_T	θ_5

Figura 2, Parámetros de Denavit-Hartenberg

Los valores determinados basados en un brazo robot de 5 GDL según las dimensiones del manipulador como el Melfa RV-2AJ.

$${}^0T = {}^0A \cdot {}^1A \cdot {}^2A \cdot {}^3A \cdot {}^4A \cdot {}^5A = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T = \begin{aligned} n_x &= \sin \theta_1 \times \sin \theta_5 + \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \cos \theta_1 \times \cos \theta_5 = 1 & (2) \\ o_x &= \cos \theta_5 \times \sin \theta_1 + \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \cos \theta_1 \times \sin \theta_5 = 0 & (3) \\ a_x &= \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \cos \theta_1 = 0 & (4) \\ P_x &= \cos \theta_1 \times (a_3 \times \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \times \cos \theta_2 - d_5 \times \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)) = 198 & (5) \\ n_y &= \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \cos \theta_5 \times \sin \theta_1 - \cos \theta_1 \times \sin \theta_5 = 0 & (6) \\ o_y &= -\cos \theta_1 \times \cos \theta_5 - \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \sin \theta_1 \times \sin \theta_5 = -1 & (7) \\ a_y &= \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \sin \theta_1 = 0 & (8) \\ P_y &= \sin \theta_1 \times (a_3 \times \cos(\theta_2 + \theta_3) + a_2 \times \cos \theta_2 - d_5 \times \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)) = 0 & (9) \\ n_z &= -\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \cos \theta_5 = 0 & (10) \\ o_z &= \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \times \sin \theta_5 = 0 & (11) \\ a_z &= -\cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) = -1 & (12) \\ P_z &= d_1 - a_3 \times \sin(\theta_2 + \theta_3) - a_2 \times \sin \theta_2 - d_5 \times \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) = 345 & (13) \end{aligned}$$

Por medio de un script en Matlab que se basa en la matriz de transformación homogénea para encontrar la orientación y posición del efector final del manipulador donde la dimensión de la herramienta es parte de distancia de desplazamiento de la quinta articulación. P es la posición y la rotación n , o y a .

Los ángulos de cada articulación son determinados pro el método de la cinemática inversa el mismo que puede ser desarrollado a partir de la posición y orientación del manipulador, por un modelo de solución geométrica [2][3].

Cinemática Inversa

θ_1

Es el análisis de la base del brazo robot desde el plano XY.

$$r = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \quad (14)$$

$$\sin \theta_1 = \frac{P_y}{r} \quad (15)$$

$$\cos \theta_1 = \frac{P_x}{r} \quad (16)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) \quad (17)$$

θ_2

Se obtiene por un análisis geométrico de los eslabones que componen al brazo robot, como se aprecia en la Figura 3, Análisis geométrico. [3]

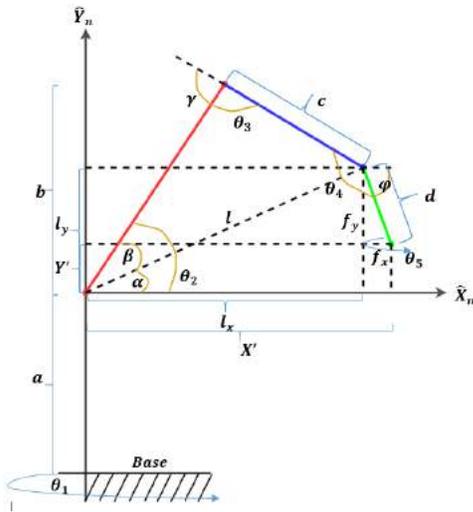


Figura 3, Análisis geométrico

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{l_y}{l_x}\right) \tag{181}$$

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + l^2 - c^2}{2bl}\right) n = s(r - p - 1) + \sum_i^p n_i \tag{19}$$

$$\theta_2 = \alpha + \beta = \tan^{-1}\left(\frac{P_z}{r}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + l^2 - c^2}{2bl}\right) \tag{20}$$

θ_3

$$l^2 = b^2 + c^2 - 2bc \times \cos(\gamma) \tag{21}$$

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + c^2 - l^2}{2bc}\right) \tag{22}$$

$$\theta_3 = -(180 - \gamma) \tag{23}$$

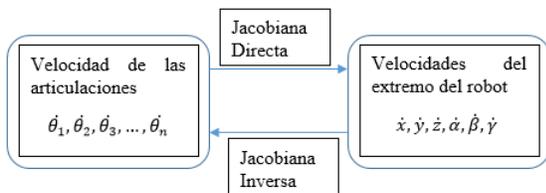
θ_4

$$\theta_4 = \varphi - \theta_2 - \theta_3 \tag{24}$$

θ_5

La última articulación no se calcula ya que es un ángulo de rotación independiente al resto del cálculo geométrico.

En la determinación de las velocidades del efector final por medio de la matriz Jacobiana [4].



Las velocidades de las articulaciones son por la Jacobiana directa y las velocidades del efector final por la Jacobiana inversa. Existen dos métodos de resolución, el analítico y el geométrico.

El método geométrico:

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_P(\theta) \\ J_O(\theta) \end{bmatrix} \dot{\theta} \tag{25}$$

$${}^0_5\vec{r} = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} \tag{26}$$

$${}^0_4z = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \tag{27}$$

$$J\dot{\theta} \tag{28}$$

$$= \begin{bmatrix} {}^0_0z \times ({}^0_5\vec{r} - {}^0_0\vec{r}) & {}^0_1z \times ({}^0_3\vec{r} - {}^0_1\vec{r}) & {}^0_2z \times ({}^0_5\vec{r} - {}^0_2\vec{r}) \\ {}^0_0z & {}^0_1z & {}^0_2z \\ {}^0_3z \times ({}^0_5\vec{r} - {}^0_3\vec{r}) & {}^0_0z \times ({}^0_5\vec{r} - {}^0_4\vec{r}) \\ {}^0_3z & {}^0_4z \end{bmatrix}$$

El mecanismo del brazo robot tiene limitaciones según sus dimensiones, por medio de las singularidades y pueden ser de dos maneras [7]:

- Singularidad en el espacio de trabajo exterior.
- Singularidad en el espacio de trabajo interior.

$$J_{det} = -(a_2 \times a_3 (a_3 \cos(\theta_3 + \theta_4) - a_3 \cos(2\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) - d_5 \sin(2\theta_2 + 3\theta_3 + 2\theta_4) - a_2 \cos \theta_4 + a_2 \cos(2\theta_2 + 2\theta_3 + \theta_4) + a_3 \cos(2\theta_2 + 3\theta_3 + \theta_4) + 2d_5 \sin \theta_3 + d_5 \sin(2\theta_2 + \theta_3 + 2\theta_4) - a_2 \cos(2\theta_2 + \theta_4) + a_2 \cos(2\theta_3 + \theta_4) - a_3 \cos(\theta_3 - \theta_4)))/4 \tag{29}$$

Si como resultado de la determinante Jacobiana tengo un valor de cero quiere decir que llego a una singularidad en el movimiento en ese punto.

C. Generación de la trayectoria

En el espacio articular para la generación de la trayectoria existen varios tipos de perfiles, pero después de un estudio de vio que el movimiento del manipulador debe ser preciso y con suavidad en sus cambios por lo que se puede generar por medio de un polinomio de orden superior que tenga la capacidad suficiente de contener todas las variables que genera un brazo robot de 5 GDL [8].

$$\begin{bmatrix} t_i^5 & t_i^4 & t_i^3 & t_i^2 & t_i & 1 \\ 5t_i^4 & 4t_i^3 & 3t_i^2 & 2t_i & 1 & 0 \\ 20t_i^3 & 12t_i^2 & 6t_i & 2 & 0 & 0 \\ t_f^5 & t_f^4 & t_f^3 & t_f^2 & t_f & 1 \\ 5t_f^4 & 4t_f^3 & 3t_f^2 & 2t_f & 1 & 0 \\ 20t_f^3 & 12t_f^2 & 6t_i & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f \\ e \\ d \\ c \\ b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_i \\ 0 \\ 0 \\ \theta_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

A partir del producto de la matriz polinomial y los vectores se van a generar un sistema de ecuaciones de seis incógnitas.

$$a = \frac{\theta_i t_f^3 (t_f^2 - 5t_i t_f + 10t_i^2) - \theta_f t_i^3 (10t_f^2 - 5t_i t_f + t_i^2)}{(t_f - t_i)^5} \quad (31)$$

$$b = \frac{30t_i^2 t_f^2}{(t_f - t_i)^5} (\theta_f - \theta_i) \quad (32)$$

$$c = \frac{30t_i t_f (t_i + t_f)}{(t_f - t_i)^5} (\theta_i - \theta_f) \quad (33)$$

$$d = \frac{(10t_i^2 + 40t_i t_f + 10t_f^2)}{(t_f - t_i)^5} (\theta_f - \theta_i) \quad (34)$$

$$e = \frac{(15t_i + 15t_f)}{(t_f - t_i)^5} (\theta_i - \theta_f) \quad (35)$$

$$f = \frac{6}{(t_f - t_i)^5} (\theta_f - \theta_i) \quad (36)$$

D. Curvas generadas

El resultado son curvas que expresan la posición angular de cada articulación con respecto a un punto inicial y un final, así como su velocidad que está basada en la derivada de la posición angular actual de la articulación y de una variable de tiempo, que se puede programar para propósito de simulación.

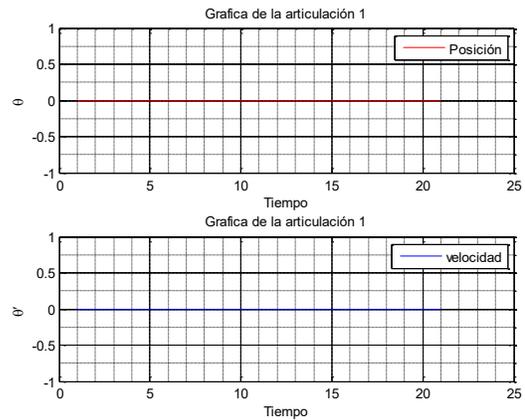


Figura 4, Curva de la articulación 1

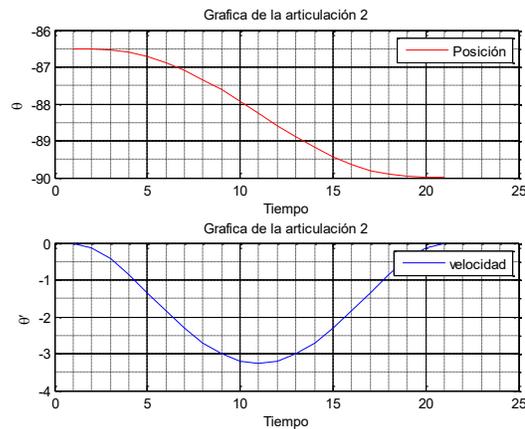


Figura 5, Curva de la articulación 2

Las curvas nos determinan si hay un movimiento y de qué tipo dependiendo del área de trabajo en este trabajo las Figura 4, da un resultado de no movimiento mientras que la Figura 5, existió un corto movimiento, suavizado por el polinomio que genera dicha curva constante.

III. PROGRAMACIÓN EN MATLAB

Para simular el brazo robot se programaron varios scripts que conforman todos los cálculos antes expuestos en el apartado anterior.

Se expone en la Figura 6 un flujograma de la secuencia en que debe funcionar el programa total para simular un manipulador.

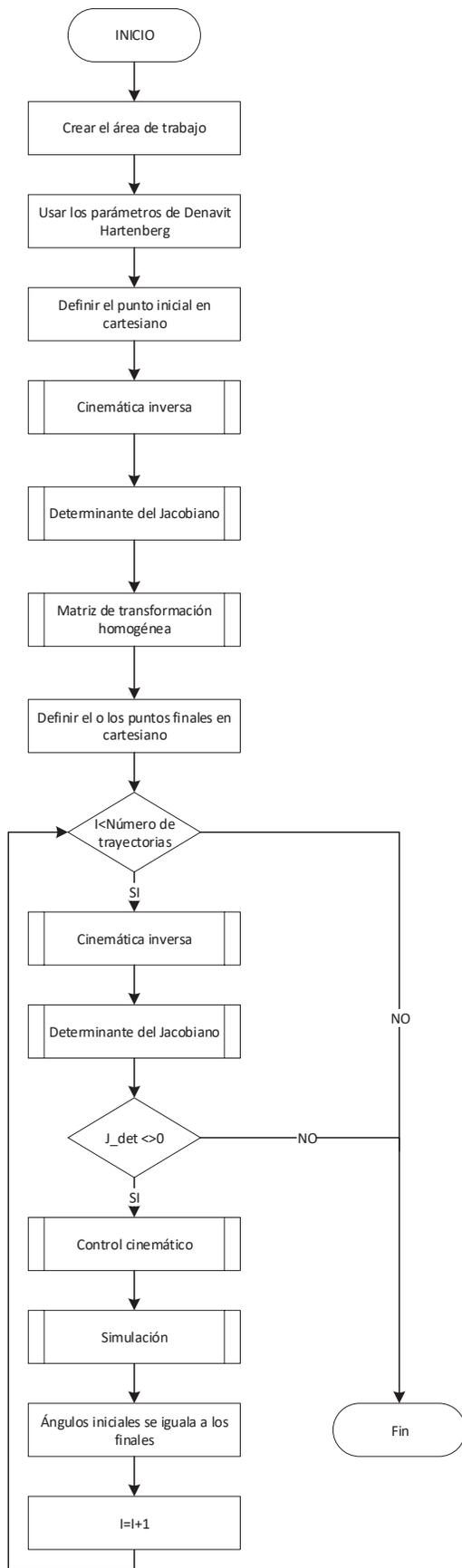


Figura 6, Diagrama de flujo en Matlab

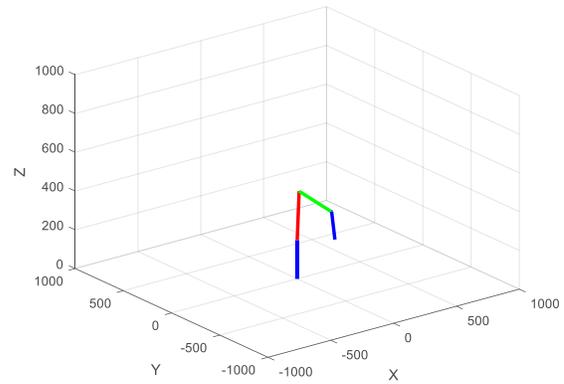


Figura 7, Posición inicial del manipulador

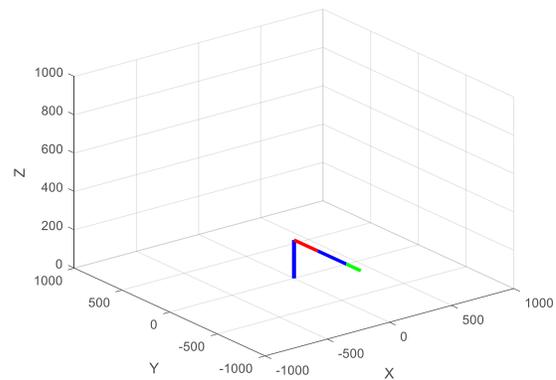


Figura 8, Posición final del manipulador

El script principal en Matlab está dado por las ecuaciones del (30) al (36), el mismo que simulación curva que deben tender los servos motores del brazo robot [6].

```

function [q] = controlcine(qi,qf,tf)

poli = [];
polip = [];
q = [];
qp = [];
% Condiciones de contorno
thetap0=thetapp0=thetappf=0
% thetaf-theta0=(tf/2) (thetapf+thetap0)

for i=0:0.1:tf
    for j=1:length(qi)
        a=(qi(j)*tf^3*(tf^2)/(tf^5));
        b=0;
        c=0;
        d=(qf(j)*(10*tf^2)/tf^5) -
        (qi(j)*(10*tf^2)/tf^5);
        e=(qi(j)*(15*tf)/tf^5) -
        (qf(j)*(15*tf)/tf^5);
        f=6*qf(j)/tf^5-6*qi(j)/tf^5;
        poli(j) = (f*i^5 + e*i^4 + d*i^3 +
        c*i^2 + b*i + a);
        polip(j) = (5*f*i^4 + 4*e*i^3 +
        3*d*i^2 + 2*c + b);
    end
end
    
```

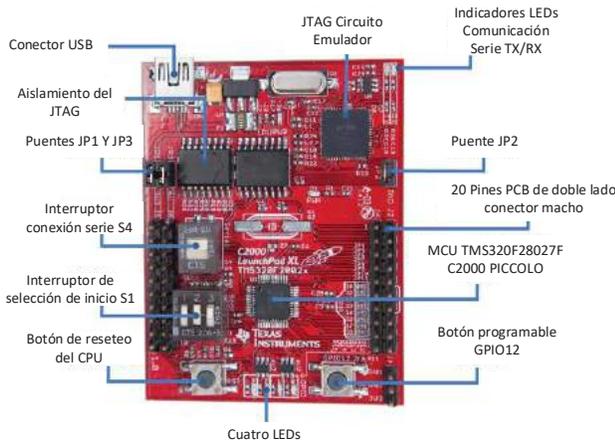
```

end
[q] = [q;poli]; %Matriz de la trayectoria
[qp] = [qp;polip]
end
end
    
```

Valores según los puntos dados en el inicio como final intervienen para la generación por medio de las 6 incógnitas.

IV. PROGRAMACIÓN DEL MCU

El microcontrolador seleccionado por sus características, de la empresa Texas Instruments, para el desarrollo de aplicaciones de control de motores, la plataforma de desarrollo C2000 Piccolo LaunchPad F28027F [9][10].



La programación del microcontrolador se lo realiza con el programa CODE COMPOSER STUDY, en donde se puede tener las diferentes librerías que pueden gobernar este MCU especializado para el control de motores con sistemas embebidos.

La comunicación se realiza con el SCI (UART) de manera serial asíncrona con la computadora, para controlar la simulación.

La función para que se realice la comunicación por medio del UART o SCI al computador, nos permite almacenar información en el buffer para posteriormente transferir.

```

// ENVIA UN CARACTER POR SCI
void scia_xmit(int a){
    while (SciaRegs.SCIFTX.bit.TXFFST != 0) {}
    SciaRegs.SCITXBUF=a;
}
    
```

```

}
// FUNCION QUE ENVIA TRES CARACTERES A LA FUNCION
scia_xmit()
void enviar(int env){
    scia_xmit(env);
    scia_xmit(CR);
    scia_xmit(LF);
}
    
```

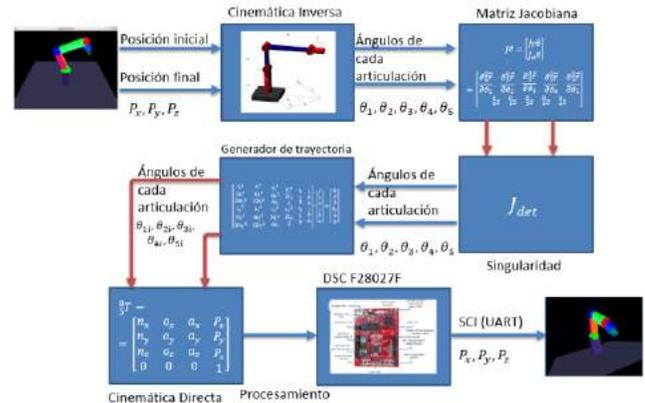


Figura 9, Ilustración del TFM Control de trayectoria de la simulación de un brazo robot de 5 grados de libertad, controlado mediante la plataforma C2000 Piccolo LAUNCHXL-F28027F

La relevancia del estudio que justifica el cálculo y programación realizados en el MCU es para controlar un brazo robot de licencia abierta [5], con objeto de comprobar la simulación de Matlab.

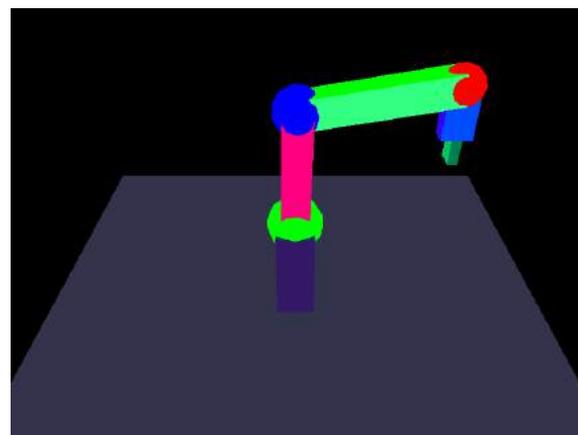


Figura 10, Brazo robot de 5GDL

V. RESULTADOS

A. figuras movimiento

Los resultados obtenidos en simulación que tienden a un valor real de los movimientos y velocidades que siguen al perfil polinomial.

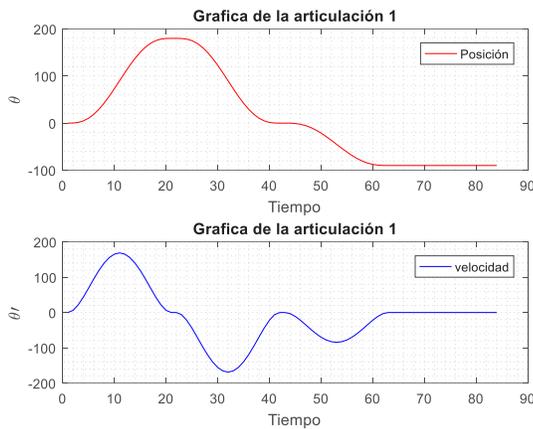


Figura 11, Primera articulación

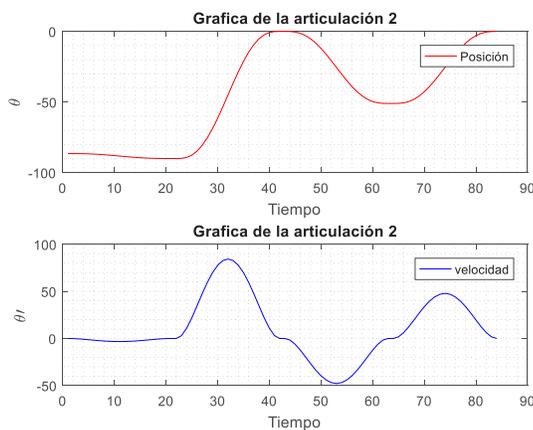


Figura 12, Segunda articulación

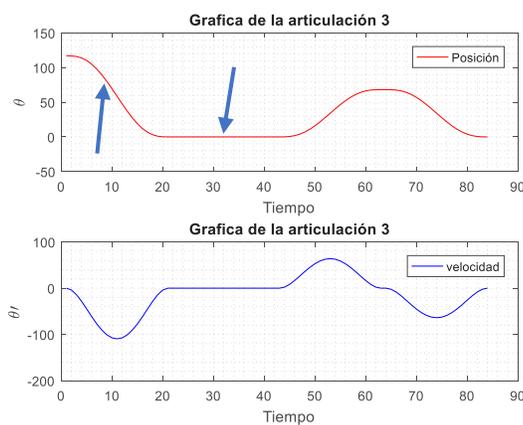


Figura 13, Tercera articulación

Las curvas demuestran que existe movimiento como se puede apreciar en la Figura 12 la primera flecha y las rectas constantes en cero en la Figura 12 segunda flecha, que se mantienen parados por un tiempo, las velocidades son la primera derivada del movimiento según el valor del tiempo definido en el programa por defecto esta 2 segundos.

Replicar la programación en Matlab al DSC o MCU se debe realizar cambios según el lenguaje que use la empresa en el caso de Texas Instruments es en C y se tiene un control similar con el brazo robot simulado hecho en freebasic.

B. Control de la trayectoria

La simulación del manipulador [5] tiene una similitud con respecto al realizado en Matlab, sin embargo, tiene errores en la programación interna de la cinemática inversa.

Por lo que en el programa se realizó cambios significativos para compensar el valor de primer eslabón.

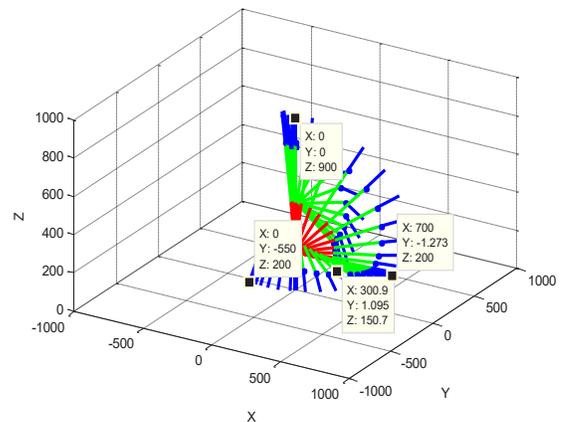


Figura 14, Brazo robot en Matlab

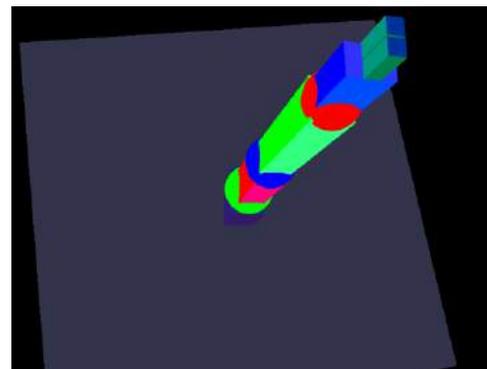


Figura 15, Brazo robot en la posición 0,0,900

Se observa que llega a los puntos finales fijados por el programa en ambas simulaciones la diferencia radica que la comunicación con el manipulador de freebasic tiene problemas de latencia en el proceso del control de trayectoria.

En la figura 14 y 15 llegan a uno de los puntos fijados se puede resolver con una implementación física en donde se puede incluir el control dinámico que analiza el control de los servomotores físicos.

VI. CONCLUSIONES

- Una buena definición de los parámetros de Denavit-Hartenberg es muy importante, porque es la configuración de la cadena cinemática entre eslabones del brazo robot para que esta pueda ser tratada para el movimiento cinemático. La mala determinación puede causar errores en la configuración del brazo robot.
- La cinemática inversa y directa al ser bien determinadas deben devolver el valor de entrada del otro, es decir si el usuario ingresa una posición el controlador u ordenador debe procesarlo con la cinemática inversa para tener como resultado la orientación o valores angulares para después ser tratados con la cinemática directa y devolver la posición. Así el usuario va a poder manejar solo valores de posición que es mucho más simple que tratar con valores angulares.
- En la determinación de las singularidades del manipulador no se tiene un control total de los límites, por lo que se debe realizar

controles adicionales de límites para definir los admisibles y no admisibles al que el brazo robot puede llegar.

- La generación de la trayectoria por medio de un polinomio puede ser simplificada de un quinto orden a un tercero dependiendo de las restricciones impuestas, sin embargo, se baja la resolución, pero se gana facilidad de procesamiento que con respecto a un mayor orden polinomial requiere más tiempo de procesamiento.

VII. RECOMENDACIONES

- Al usar el DSC como controlador es importante tener en cuenta que sea diseñado para uso industrial.
- Es importante el desarrollo de una simulación para comprobar que el control de la trayectoria sea el adecuado siempre verificando que las singularidades se cumplan en las limitaciones.
- Matlab es una herramienta muy usada en la educación y desarrollo científico, facilitando la realización de scripts para un mejor control de las simulaciones.

REFERENCIAS

- [1] Cortés Parejo, J. (2008, Marzo). La representación Denavit-Hartenberg. Retrieved from http://personal.us.es/jcortes/Material/Material_archivos/Articulos%20PDF/RepresentDH.pdf
- [2] Jaramillo Botero, A. (n.d.). Cinemática de Manipuladores Robóticos. Retrieved from http://www.wag.caltech.edu/home/ajaramil/libro_robotica/cinematica.pdf
- [3] Universidad La Rioja. (2015, Noviembre 26). Youtube. (C. Elvira Izurrategui , Producer) Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=9Ri5i4bq7Ns&t=0s>

- [4] University, S. (n.d.). Stanford Engineering Everywhere. Retrieved from <https://see.stanford.edu/Course/CS223A/35>
- [5] Robótica google (S.N.) <https://sites.google.com/site/proyectosroboticos/cinematica-inversa-iii>
- [6] Corke, P. (2013). Robotics, vision and control Fundamental Algorithms in Matlab. Stanford : Spinger.
- [7] CRAIG , J. (2006). ROBÓTICA (TERCERA EDICION ed.). México: PEARSON EDUCATION.
- [8] Subir Kumar , S. (2010). INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA (1ED ed.). México: Mc Graw Hill Inter-Americana.
- [9] Kurt E. (2010). A Geometric Approach for Robotic Arm Kinematics with Hardware Design, Electrical Design and Implementation. Huosheng Hu [Paper] http://www.siue.edu/~yshang/publications/J_of_Robotics.pdf
- [10] Texas Instruments (2013) software y uso del DSC en aplicaciones industriales. [Online] www.ti.com/c2000-launchpad-instaspin,

Selección de localización mediante MCGDM usando Paj-Borda y medidas de consenso. Selección de una nueva biorrefinería a partir de banano de rechazo.

Yadira Vargas García*^a, Joffre Pazmiño Sánchez ^a, Jorge Romero Gelvez ^b, Javier Dávila Rincón ^a,
Javier Naranjo Vasco ^c.

^a Semillero de investigación Bio-based Products and Process, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

^b Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá.

^c Grupo de investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales (GIDTA), Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Católica de Manizales
Email: vargasyadira92@hotmail.com, pjoffreadrian@yahoo.es, jorgeiv500@gmail.com,
javiera.davilar@utadeo.edu.co, jnaranjo@ucm.edu.co

Resumen

El propósito de este estudio es la priorización de varias localizaciones posibles para la instalación de una nueva biorrefinería a partir del banano de rechazo, también para definir y cuantificar los principales criterios que afectan su desempeño. Este documento utiliza un modelo híbrido de toma de decisiones de grupo de criterios múltiples (MCGDM), iniciando con la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico para asignar un peso a todos los criterios, luego la aplicación del método De Borda para asignar una clasificación a todas las alternativas. Las matrices de decisión final para cada decisor se comparan entre ellas para identificar el nivel de consenso del problema. Los resultados de esta investigación mostraron que la ciudad de Machala fue la localización con mayor ponderación ya que obtuvo las mayores puntuaciones con respecto a todos los criterios establecidos y a la vez fue seleccionada con un nivel de consenso muy alto. Adicionalmente, este estudio permitió connotar una solución novedosa de visualización y retroalimentación de los datos dentro del proceso de toma de decisiones, mediante la aplicación del lenguaje de programación JuliaBox.

Palabras Claves

Biorrefinería, Consenso, De borda, Desempeño operacional, Proceso Analítico Jerárquico.

Abstract

The aim of this study is the prioritization of several possible locations for the installation of a new biorefinery from rejected bananas, also to define and quantify the main criteria that affects their performance. This paper uses a hybrid Multiple Criteria Group Decision Making model (MCGDM), starting with the application of Analytic Hierarchy Process to assign a weight to all criteria, next the application De-Borda method for assign a ranking to all alternatives. The final decision matrices for each decision maker are compared among them in order to identify the consensus level of problem. Results of this research showed that Machala city was the location with greater weighting since this obtained the highest scores with respect to all stablished criteria and at the same time this city was selected with a consensus very high level. Additionally, this study allowed to connote a novelty solution for visualization and feedback of data within the decision making process using the JuliaBox programming language.

Index Terms

Analytic Hierarchy Process, Biorefinery, Consensus, De borda, Operational Performance.

I. INTRODUCCIÓN.

La decisión de determinar la mejor localización de una instalación industrial es fundamental, ya que esta determina el éxito o fracaso de una empresa (Kaboli et al. 2007). Seleccionar la mejor ubicación de una o más instalaciones está relacionado con los objetivos de minimizar el costo de transporte, proporcionar un servicio equitativo a los consumidores, capturar el mayor mercado y maximizar los recursos de las empresas (Kaboli et al. 2007; Sawik, Faulin, and Pérez-Bernabeu 2017; Tavakkoli-Moghadam and Mousavi 2011).

Elegir la localización de instalaciones abarca campos de investigación como: Gestión de Operaciones, Ingeniería Industrial, Geografía, Economía, Matemáticas, Marketing, Ingeniería Eléctrica, Planificación urbana, entre otras (Kaboli et al. 2007). Los problemas de ubicación de instalaciones implican considerar muchos criterios potenciales tales como el costo de inversión, recursos humanos, disponibilidad de materias primas, etc. Es por esta razón que la selección de ubicación es visto como un problema de toma de decisiones grupales multicriterio (MCGDM por sus siglas en inglés) (Hanine et al. 2016; Tavakkoli-Moghadam and Mousavi 2011).

La MCGDM se derivó de la toma de decisiones de criterios múltiples y de las técnicas de decisiones grupales (Hanine et al. 2016). La toma de decisiones, especialmente decisiones estratégicas con altas implicaciones estocásticas, involucra a múltiples actores o decisores (Saaty 1980; Sawik, Faulin, and Pérez-Bernabeu 2017) Es por esto que el MCGDM es utilizado cuando un grupo de decisores se enfrenta al problema de seleccionar la solución óptima entre diferentes alternativas finitas (Heravi, Fathi, and Faeghi 2017) (Hanine et al. 2016).

Uno de los principales métodos de MCGDM es el proceso analítico jerárquico (PAJ) (Berumen and Llamazares 2007). Este método fue desarrollado para brindar una estructura sólida matemática a la toma de decisiones basada en la experiencia, intuición y heurística (Saaty 1980). El PAJ permite que el proceso de la toma de decisiones se estructure mediante una jerarquía de atributos que pueden ser fácilmente evaluados y comprendidos (Berumen and Llamazares 2007; Saaty 1980). Por otro lado, el método De-Borda permite clasificar las posibles alternativas mediante puntuaciones (Hanine et al. 2016). De la misma manera, el análisis de consenso es un proceso en el cual se pretende lograr un acuerdo entre los involucrados donde se puede modificar las preferencias dadas en el método PAJ y Borda, de acuerdo a los consejos dados por el moderador (Tapia et al. 2012).

Por otra parte, las biorrefinerías son instalaciones análogas a las refinerías de petróleo, de las cuales se puede obtener bioproductos energéticos y no energéticos a partir de biomasa residual agrícola, forestal, entre otras (Dávila et al. 2017). Sin embargo, estas industrias biobasadas se encuentran en una etapa de investigación y desarrollo, de

modo que es necesario e indispensable intensificar y generar nuevos estudios relacionados a estas instalaciones, dentro de las cuales se incluye la determinación de la óptima localización (Heravi, Fathi, and Faeghi 2017). Con respecto al contexto ecuatoriano, las materias primas de segunda generación como el banano de rechazo, no se les da un valor agregado, por lo cual, el concepto de biorrefinería es una de las alternativas prometedoras para aprovechar esta biomasa (Pazmiño-Sánchez, Vargas-García, and Dávila-Rincón 2017).

En este sentido, el objetivo de esta investigación es presentar de manera ordenada y estructurada la selección emitida por los decisores, mediante juicios de valor comparables y cuantificables. Además, este trabajo connota una metodología novedosa con el uso del lenguaje de programación JuliaBox (Bezanson 2017) para analizar los datos provistos por los expertos facilitando la visualización y análisis del problema de selección de localización de la biorrefinería a partir de banano de rechazo.

II. METODOLOGÍA.

La metodología de este estudio está basada en la combinación del PAJ, una escala de valoración en base al conteo de Borda y análisis de consenso basado en las medidas de similaridad de matrices de decisión propuesto por (Chiclana et al. 2013). Estos métodos son aplicados en priorización con múltiples decisores como lo recomiendan (Romero-Gelvez and García-Melón 2016). A continuación se resume los pasos de desarrollo en esta investigación:

1. Ponderación de los criterios y valoración de las alternativas de cada decisor.
2. Agregación de decisores y análisis de información.
3. Análisis de consenso y visualización de resultados.

Los datos fueron obtenidos directamente de cada uno de los decisores. Por lo que, para el primer paso se utiliza la los métodos de PAJ y Borda para las valoraciones de los criterios y alternativas respectivamente. Estos métodos son utilizados en conjunto con el paquete de programación *AnalyticHierarchyProcess* (Romero-Gelvez 2017) con el fin de aplicarlo a las matrices de criterio de los decisores (Hanine et al. 2016). Finalmente, el segundo y tercer paso son desarrollados con el lenguaje de programación JuliaBox (Bezanson 2017), en el cual se agrega la media aritmética y geométrica a los resultados de cada decisor con el fin de determinar el nivel de consenso entre los expertos.

A. Definición del estudio

El proceso de toma de decisión de este proyecto consiste en la selección de la mejor localización de una biorrefinería a partir de banano de rechazo para obtener polihidroxibutirato (PHB) y bioetanol rectificado al 96%.

Se ha determinado que 4 expertos serán los que realicen las comparaciones por pares de los criterios y seleccionen la mejor alternativa (Heravi, Fathi, and Faeghi 2017). Los criterios fueron considerados siguiendo las recomendaciones de (Hanine et al. 2016; Kaboli et al. 2007; Tavakkoli-Moghadam and Mousavi 2011). En la tabla 1 se detallan los criterios pactados para el presente caso de estudio.

Tabla 1 Criterios para localización de una biorrefinería.

Criterio	Descripción
C1	Costo de terreno.
C2	Costo de transporte de materia prima.
C3	Costo de materia prima.
C4	Costo de utilidades (agua, energía, combustibles).
C5	Disponibilidad de transporte para la materia prima.
C6	Distancias de recorrido entre proveedor y biorrefinería.
C7	Disponibilidad de utilidades.
C8	Disponibilidad de mano de obra.
C9	Disponibilidad de materia prima.
C10	Infraestructura vial

Con respecto a la selección de alternativas se basó en que la instalación de la biorrefinería debe estar cerca de la materia prima como lo recomiendan (Davis et al. 2015; Humbird et al. 2011). Estas alternativas fueron seleccionadas mediante el análisis de las ciudades con mayor producción de banano a nivel nacional como lo establece el (MAGAP 2017). En la tabla 2 se indican las alternativas de localización de la biorrefinería.

Tabla 2 Alternativas para localización de una biorrefinería.

Alternativas	Posibles localizaciones
A1	Machala
A2	Quevedo
A3	El Triunfo
A4	El Guabo
A5	Milagro
A6	Baba

B. Evaluación de criterios.

El primer paso para aplicar el método PAJ consiste en realizar la estructura jerárquica en la que se incluye el objetivo de estudio, los criterios y las alternativas (ver figura 1). Seguidamente, los criterios se evalúan mediante comparaciones binarias en una matriz n x n, donde n es el número de elementos a compararse. Para esta comparación se utiliza la escala propuesta por (Saaty 1980) como se indica en la tabla 3.

Figura 1 Estructura jerárquica para localización de biorrefinería.



Tabla 3 Escala de comparaciones binarias.

Intensidad relativa	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro
2,4,6,8	Valores intermedios

Una vez realizada la comparación se procede a encontrar las prioridades relativas de los criterios en base a la teoría del eigenvector. La Ec. (1) indica el eigenvector de una matriz de comparación llamada A.

$$Aw = \lambda_{max}w \tag{1}$$

Donde, w corresponde al vector columna de los pesos relativos que se obtienen cuando se calcula el promedio de la matriz de comparación normalizada. La normalización de la matriz se realiza dividiendo cada uno de los elementos de cada columna para la suma de todos los elementos de la misma. A su vez, el valor de λ_{max} se obtiene al sumar el vector columna correspondiente a la multiplicación de la matriz de comparación original con el vector columna de pesos relativos (ver Ec. 2).

$$\lambda_{max} = \sum_i^n Aw \tag{2}$$

Las comparaciones realizadas por los decisores se realizan subjetivamente, por lo que se requiere de un índice de consistencia para medir la coherencia de las calificaciones realizadas por cada experto. El índice de consistencia (IC) se calcula como se indica en (3).

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{3}$$

Posteriormente se calcula la relación de consistencia (RC) como se indica en (4), donde el ratio de inconsistencia (RI) corresponde a una constante de comparación que depende del tamaño de la matriz de comparación por pares. Para tamaños de n=10 se considera RI = 1,49 (Aznar and

Guijarro 2012). De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se determina que existe consistencia en las valoraciones dadas por los expertos cuando el RC no sobrepase el 10%. Este valor corresponde a matrices de tamaño superior a 5x5 (Aznar and Guijarro 2012).

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (4)$$

C. Evaluación de Alternativas.

Para la evaluación de alternativas se utiliza el Método de Borda, el cual permite la asignación de un peso desde 1 hasta 6 para cada alternativa (Hanine et al. 2016). Para la presente investigación se asigna un valor de 6 a la alternativa de mayor preferencia y un valor de 1 para la alternativa con menor preferencia. Una vez obtenidos los valores de preferencia de cada alternativa con respecto a cada criterio, se procede a normalizar estos valores con el fin de obtener cantidades ponderadas ($V_i \in [0,1]$), siendo la sumatoria de las componentes del vector $V_i = 1$.

D. Análisis de consenso.

Para este análisis se utiliza el índice de consenso propuesto por (Tapia et al. 2012), el cual se basa en la medida de similaridad para la matriz de decisión de cada participante. Por cada par de expertos se obtiene una matriz de similaridad $SM_{ij}^{kl} = (sm_{ij}^{kl})$ comparando cada matriz de decisión de cada experto E_{ij}^k con el resto de ellos como se indica en (5).

$$sm_{ij}^{kl} = 1 - |p_{ij}^k - p_{ij}^l| \quad (5)$$

Donde, p_{ij} es la valoración de las alternativas A_j contra los criterios C_j , que corresponden a los eigenvector para cada decisor.

Adicionalmente, se calcula una matriz de consenso, $CM = (cm_{ij})$, agregando las matrices de similaridad usando la media aritmética como función de agregación, como se indica en el Ec. (6), donde sm_{ij} es la matriz de similaridad para cada decisor.

$$cm_{ij} = \varnothing(sm_{ij}^{kl}, k = 1, \dots, m - 1, l = k + 1 \dots, m). \quad (6)$$

Luego de calcular la matriz, los grados de consenso se obtienen en tres niveles diferentes como se muestra a continuación:

- a) Nivel 1.- Grado de consenso en pares de alternativas (CE). La Ec. (7) indica el índice de consenso de un experto con respecto al grupo de expertos en la alternativa x_i bajo criterio C_j .

$$CE_{ij}^h = cm_{ij} \quad (7)$$

- b) Nivel 2.- Grado de consenso sobre las alternativas (CA). Se analiza el índice de consenso de un

experto con respecto a un grupo de expertos en la alternativa x_i como se indica en (8).

$$CA_i^h = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n CE_{ij}^h \quad (8)$$

- c) Nivel 3.- Índice de consenso sobre la matriz de decisión (CI), como se indica en la Ec. (9). Donde, m es el número de criterios para cada matriz de decisión.

$$CI^h = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m CA_i^h \quad (9)$$

Una vez obtenido el índice de consenso CI se lo compara con el mínimo nivel de consenso establecido para el problema, donde CL es $\in [0,1]$, el cual dependerá del tipo de problema abordado. CL es un valor de referencia predefinido por el moderador. Un CI más alto significa un mayor nivel de consenso para el problema. Cuando $CI \geq CL$, el modelo de consenso finaliza y se acepta aquella alternativa que tenga la mayor valoración. En el caso de que no exista un consenso se debe dar retroalimentación a los participantes y posterior a esto aplicar nuevamente el cálculo de consenso sobre las nuevas valoraciones. Para esta investigación se proponen seis tipos de consenso (ver tabla 4), en base a (Romero-Gelvez and García-Melón 2016):

Tabla 4 Tipos de consenso propuestos para el análisis de la localización.

Tipo de consenso	Rango
Ninguno	0 - 0,17
Muy bajo	0,17 - 0,33
Bajo	0,33 - 0,5
Medio	0,5 - 0,67
Alto	0,67 - 0,83
Muy alto	0,83 - 1,0

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los decisores tuvieron relación de consistencia aceptable (ver tabla 5), lo que indicó que sus valoraciones eran confiables.

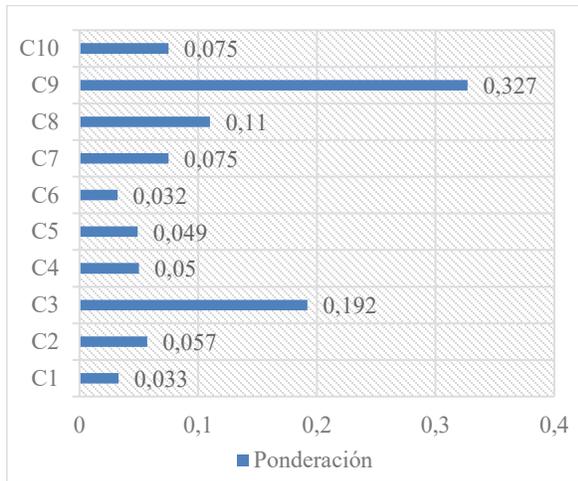
Tabla 5 Relación de inconsistencia de los decisores.

Decisor	Relación de consistencia (%)
1	9
2	8
3	8
4	9
Combinado	2

La figura 2 indica las ponderaciones de los decisores, en la cual se puede observar que el criterio más importante es $C9 =$ Disponibilidad de materia prima (0,327) y el menos

importante es C6 =Distancias de recorrido entre proveedor y biorrefinería (0,032). Otros estudios ha reportado que para el seleccionamiento de la localización de una planta de producción que requiere minimizar el uso de recursos, el criterio disponibilidad de material ocupó el segundo lugar (0,281) de 5 criterios analizados en dicha investigación (Tavakkoli-Moghadam and Mousavi 2011). Esto refleja que los valores obtenidos en cada estudio son influenciados por los criterios de los decisores y la cantidad de variables analizadas.

Figura 2 Peso de criterios de los decisores.



Con respecto a las alternativas, la figura 3 señala que la ciudad de Machala (0,243) es considerada la mejor opción para la localización de la biorrefinería y Baba (0,105) es la ciudad con la menor valoración.

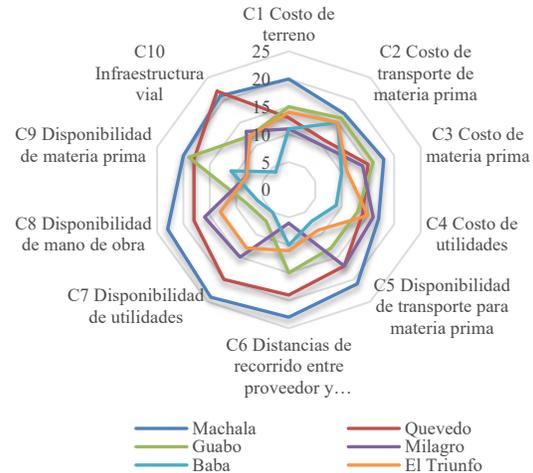
Figura 3 Peso de las alternativas



Adicionalmente, la figura 4 indica las valoraciones de cada una de las alternativas según el método de Borda. En dicha figura se puede observar que la ciudad de Machala tuvo la mejor puntuación (204) a diferencia de la ciudad de Baba (88). Esto se debe a que los decisores determinaron según su experticia, que la ciudad de Machala cumple con todos los criterios establecidos para este estudio. Además, se puede analizar que la segunda ciudad que cumple con los criterios es Quevedo, la cual incluso obtuvo la mayor

preferencia cuando se analizó el criterio infraestructura vial.

Figura 4 Importancia de cada alternativa en cada criterio agregado de los decisores



Consecuentemente, la tabla 6 indica la matriz de decisión agregada de los 4 decisores. Con la *matriz3* obtenida del tratamiento de datos realizados en JuliaBox se obtienen los tres niveles de consenso, donde el CI para esta investigación corresponde a 0,9530540 lo que indica un nivel de consenso Muy alto con respecto a la decisión de que la instalación de la biorrefinería sea localizada en la ciudad de Machala.

Tabla 6 Matriz de decisión agregada para los decisores

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	0,587	0,290	0,400	0,446	0,448	0,510	0,465	0,532	0,329	0,356
A2	0,211	0,057	0,166	0,112	0,208	0,262	0,277	0,212	0,229	0,402
A3	0,052	0,164	0,049	0,133	0,031	0,048	0,092	0,049	0,029	0,07
A4	0,080	0,270	0,237	0,104	0,081	0,111	0,028	0,035	0,319	0,056
A5	0,035	0,043	0,114	0,178	0,209	0,022	0,116	0,148	0,028	0,096
A6	0,035	0,176	0,034	0,027	0,023	0,047	0,022	0,024	0,066	0,02

IV. CONCLUSIONES.

Respecto a los resultados obtenidos para este problema de decisión grupal basada en los métodos PAJ y De-Borda, encontramos que la mejor ciudad para la localización de la biorrefinería es Machala debido a que su valoración es la más alta en la mayoría de criterios. Con respecto al índice de consenso, en esta investigación se logró alcanzar un nivel muy alto de consenso entre los decisores, lo que demuestra concordancia entre las valoraciones de cada decisor.

Por otro lado, este estudio provee una herramienta efectiva que puede ser utilizada como referencia para la selección de localización de instalaciones ya sean industriales o comerciales. Finalmente, se recomienda que

para estudios de localización se involucren a todas las partes interesadas, con el fin de que la localización seleccionada cumpla con todos los parámetros de análisis y que estos abarquen criterios ambientales y sociales con el fin de alcanzar la sostenibilidad de la instalación incluso antes de su funcionamiento.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto de Fomento al Talento Humano de Ecuador (IFTH) por el soporte financiero, a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y a la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo técnico y académico.

REFERENCIAS

- Aznar, Jerónimo, and Francisco Guijarro. 2012. *Nuevos Métodos de Valoración - Modelos Multicriterio*. Segunda ed. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Berumen, Sergio a, and Francisco Llamazares. 2007. "La Utilidad de Los Métodos de Decisión Multicriterio (Como El AHP) En Un Entorno de Competitividad Creciente." *Cuadernos de Administración* 20(34): 65–87.
<http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v20n34/v20n34a04.pdf>.
- Bezanson, Jeff. 2017. "Julia: A Fresh Approach to Numerical Computing The MIT Faculty Has Made This Article Openly Available . Please Share Citation Accessed Citable Link Julia: A Fresh Approach to Numerical Computing *."
- Chiclana, F., J. M. Tapia García, M. J. Del Moral, and E. Herrera-Viedma. 2013. "A Statistical Comparative Study of Different Similarity Measures of Consensus in Group Decision Making." *Information Sciences* 221(February): 110–23.
- Dávila, Javier A., Moshe Rosenberg, Eulogio Castro, and Carlos A. Cardona. 2017. "A Model Biorefinery for Avocado (Persea Americana Mill.) Processing." *Bioresource Technology* 243: 17–29.
- Davis, R. et al. 2015. *National Renewable Energy Laboratory-NREL Process Design and Economics for the Conversion of Lignocellulosic Biomass to Hydrocarbons: Dilute-Acid and Enzymatic Deconstruction of Biomass to Sugars and Biological Conversion of Sugars to Hydrocarbons*.
<http://www.osti.gov/servlets/purl/1107470/>.
- Hanine, Mohamed, Omar Boutkhoul, Abdessadek Tikniouine, and Tarik Agouti. 2016. "A New Web-Based Framework Development for Fuzzy Multi-Criteria Group Decision-Making." *SpringerPlus* 5(1): 601.
<http://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/s40064-016-2198-1>.
- Heravi, Gholamreza, Medya Fathi, and Shiva Faeghi. 2017. "Multi-Criteria Group Decision-Making Method for Optimal Selection of Sustainable Industrial Building Options Focused on Petrochemical Projects." *Journal of Cleaner Production* 142: 2999–3013.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.168>.
- Humbird, D et al. 2011. "Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol Dilute-Acid Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover." *Renewable Energy* 303(May): 147.
<http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/47764.pdf>.
- Kaboli, A, M B Aryanezhad, K Shahanaghi, and R Tavakkoli-Moghaddam. 2007. "A Holistic Approach Based on Mcdm for Solving Location Problems." *International Journal of Engineering Transactions A Basics* 20(3): 251–62.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.455.4455&rep=rep1&type=pdf>.
- MAGAP. 2017. "Geoportal Del Agro Ecuatoriano." *Ministerio de agricultura y ganadería*.
<http://geoportal.agricultura.gob.ec/mapasint.html> (November 23, 2017).
- Pazmiño-Sánchez, Joffre, Yadira Vargas-García, and Javier Dávila-Rincón. 2017. "Perspectivas de Las Biorrefinerías Y Situación Actual de Los Biocombustibles En Ecuador Como País Emergente." *Perfiles* 2(18): en prensa.
- Romero-Gelvez, J. I. 2017. "Julia AnalyticHierarchyProcess." <https://github.com/aviks/Taro.jl>.
- Romero-Gelvez, J. I., and M. García-Melón. 2016. "Influence Analysis in Consensus Search - A Multi Criteria Group Decision Making Approach in Environmental Management." *International Journal of Information Technology & Decision Making* 15(4): 791–813.
- Saaty, T. 1980. "The Analytic Hierarchy Process." *New York: McGraw-Hil*.
- Sawik, Bartosz, Javier Faulin, and Elena Pérez-Bernabeu. 2017. "A Multicriteria Analysis for the Green VRP: A Case Discussion for the Distribution Problem of a Spanish Retailer." *Transportation Research Procedia* 22: 305–13.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.037>.
- Tapia, J., M. Del-Moral, M. Martínez, and E. Herrera-Viedma. 2012. "A Consensus Model for Group Decision-Making Problems with Interval Fuzzy Preference Relations." *International Journal of Information Technology & Decision Making* 11(4): 709–25.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., and S.M. Mousavi. 2011. "An Integrated AHP-VIKOR Methodology for Plant Location Selection." *IJE Transactions B: Applications* 24(2): 127–37.

Análisis del diseño conceptual en planta mediante simulación de procesos estocásticos. Caso de estudio biorrefinería para piñón (*Jatropha curcas L.*)

Joffre Pazmiño Sánchez ^{a*}, Yadira Vargas García ^a, Jorge Romero Gélvez ^b, Javier Dávila Rincón, Ángel Guamán Lozano ^c.

^a Semillero de Investigación Bio-based Products and Process, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

^b Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

^c Grupo de Investigación Ergonomía y Producción, Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.
Email: pjoffreadrian@yahoo.es

Resumen.

Actualmente las biorrefinerías son bioindustrias emergentes que están generando un gran interés en el mundo, especialmente en países agrícolas con un alto potencial de biomasa residual y en zonas donde las tierras no son aptas para cultivos alimentarios. En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue abordar un análisis del diseño conceptual en planta por producto de una biorrefinería a partir del fruto de piñón (*Jatropha curcas L.*) para obtener biodiesel y bioetanol en el contexto ecuatoriano, mediante la simulación de procesos estocásticos. Para lo cual, se realizó el diagrama de flujo del proceso de la biorrefinería en Aspen Plus con el fin de obtener el balance de masa y energía. Posteriormente, se simuló el flujo del proceso de la biorrefinería utilizando procesos estocásticos en FlexSim, considerando variables de flujo de proceso, tiempos de servicio, tasas de producción y patrones de llegada con el fin de determinar el análisis actual de la distribución en planta. Los resultados obtenidos de la presente investigación mostraron que la productividad en la biorrefinería fue de 5553,72 Kg/h y 7510,30 Kg/h para biodiesel y bioetanol respectivamente. Con respecto al análisis de la distribución en planta, se determinó que la frecuencia de envío de la materia prima desde los centro de Acopio a la instalación fue de 3773070 kg/semana y el envío de los biocombustibles a PETROECUADOR EP fue diario. Adicionalmente, se determinó que la biorrefinería puede aumentar su capacidad de producción debido a la disponibilidad de materia prima. Finalmente, este trabajo permitió connotar la relevancia de la simulación en la distribución en planta para este tipo de bioindustrias, dando un soporte alternativo a las diferentes metodologías existentes.

Palabras Claves: Biomasa, Biorrefinería, Distribución en planta, Procesos estocásticos, Simulación.

Abstract

Nowadays, biorefineries are emerging bioindustries that are generating a great world interest, especially in agricultural countries with a high potential of residual biomass and fields where land isn't suitable for food crops. Thereby, the aim this research was to carry out a conceptual design analysis in plant by product of a biorefinery from piñon fruit (*Jatropha curcas L.*) to obtain biodiesel and bioethanol in Ecuadorian context, through the simulation of stochastic processes. For which, a flow chart of the biorefinery process was made in Aspen Plus in order to obtain the mass and energy balance. Then, a flow biorefinery process was simulated using stochastic processes in FlexSim, considering variables-process flow, service times, production rates and arrival patterns in order to determine the current plant distribution analysis. Results showed that productivity in the biorefinery was 5553.72 Kg/h and 7510.30 Kg/h for biodiesel and bioethanol respectively. Meanwhile, the plant distribution analysis it was determined that frequency of shipping raw material since the storage center to facility was 3773070 kg/week and the shipping of biofuels to PETROECUADOR EP was daily. Furthermore, it was determined that biorefinery can increase its production capacity because to availability of raw material. Finally, this work allowed highlight the relevance of the simulation in distribution plants for this type of bio-industries, giving an alternative support to different existing methodologies.

Keywords: Biomass, Biorefineries, Plant distribution, Simulation, Stochastic processes.

I. INTRODUCCIÓN.

Durante las últimas décadas el mundo enfrenta varias problemáticas relacionadas al consumo de combustibles fósiles. Los sectores energéticos y no energéticos dependen en gran medida de estos combustibles. El uso excesivo de estos ha traído consigo grandes consecuencias ambientales, sociales, políticas y económicas a nivel mundial. En este sentido, actualmente varios países del mundo han retomado el interés en el potencial de la biomasa como materia prima para obtener diferentes bioproductos energéticos (biodiesel, bioetanol, biogás, pellets, etc.) y no energéticos (bioplásticos, resinas, biofertilizantes, etc.) con el fin de reducir la dependencia del petróleo y desarrollar nuevas industrias bio-basadas enfocadas a la bioeconomía y economía circular (An, Wilhelm, and Searcy 2011; World Energy Council 2010). Conceptualmente, las biorrefinerías son análogas a las refinerías del petróleo. Estas industrias bio-basadas procesan y fraccionan la biomasa en un espectro de bioproductos energéticos y no energéticos. Sin embargo, las biorrefinerías todavía se encuentran en etapas de investigación y desarrollo, las cuales abarcan desde la trazabilidad de la cadena de suministro hasta los procesos de transformación con el fin de evitar errores cuando estas instalaciones sean una realidad industrial (Demirbas 2009; Moncada B, Aristizábal M, and Cardona A 2016).

En este aspecto, varios países a nivel mundial como EE.UU., Brasil, Canadá, Colombia y Argentina llevan investigando durante varios años la biomasa. Hoy en día, Brasil es un gran ejemplo en la implementación de industrias bio-basadas a nivel sudamericano, siendo el segundo mayor productor de bioetanol con el 28% de la producción a nivel mundial, detrás de EE.UU., el cuál produce el 58,5%. (Lopes De Carvalho, Antunes, and Freire 2016). Otro caso distintivo es Colombia, donde la producción de biodiesel aumentó de 192,5 a 571,9 millones de litros (MML) entre 2009 y 2013 (Acevedo et al. 2015). Además, las mezclas de biodiesel distribuidas en todo el territorio colombiano corresponden a B2, B7 y B10 para las zonas oriental, media-occidental y norte-oeste respectivamente (Rincón et al. 2015). Mientras tanto, en el caso particular de Ecuador la implementación de industrias bio-basadas está en una etapa emergente en comparación con los países antes mencionados. Actualmente, el único biocombustible que se produce y se comercializa en el país es el bioetanol a partir de la caña de azúcar (Pazmiño-Sánchez, Vargas-García, and Dávila-Rincón 2017). En el 2015 la oferta de este biocombustible fue de 34,72 MML (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos 2016). En el Ecuador, el bioetanol grado carburante es destinado como materia prima para la mezcla con Nafta de Alto Octano (NAO) y Nafta de Bajo Octano (NBO) para obtener gasolina Ecopaís. Hoy en día, esta gasolina está conformada por 5% de bioetanol y 95% de naftas (Pazmiño-Sánchez, Vargas-García, and Dávila-Rincón 2017; PETROECUADOR EP 2015).

Por otra parte, dado que las biorrefinerías se encuentran en una etapa de investigación y desarrollo se han propuesto varios

estudios desde la parte del diseño conceptual, básico y detalle, optimización de procesos y cadena de suministro (Grano, Duarte, and Oliveira 2017; Judd, Sarin, and Cundiff 2012). Sin embargo, es importante seguir intensificando las investigaciones de estas industrias bio-basadas desde un enfoque holístico. La distribución en plantas de una instalación industrial radica principalmente en la planificación efectiva para la reducción de costos entre el 10 y 20% por año como lo señala Muther; el cual manifiesta que destinar un tiempo extra en la planificación en planta antes de la instalación reduce las pérdidas significativamente (Collazos Valencia 2013; Ojaghi et al. 2015).

Las biorrefinerías son el eje central de la bioeconomía, por lo cual estas deben ser instalaciones competitivas y flexibles en contraste con las actuales instalaciones industriales, donde tienen como base la economía lineal. Autores como (Hadi-Vencheh and Mohamadghasemi 2013) muestran que los problemas de diseño de la distribución en plantas de una instalación industrial son problemas de multicriterio, por cuanto involucran aspectos cualitativos como la flexibilidad y cuantitativos como los temas de costos, manejo de materiales, entre otros.

En este orden de ideas y dado que las instalaciones de una biorrefinería contiene eventos con comportamientos aleatorios como tasas de llegadas de materia prima, tiempos de producción, congestiones o cuellos de botella, entre otros. El objetivo principal de esta investigación es abordar un análisis al diseño conceptual de un diagrama de flujo de procesos mediante la aplicación de procesos estocásticos, por lo cual se propone un análisis conceptual de distribución en planta considerando los factores de materiales, maquinaria, transporte y esperas.

II. METODOLOGÍA.

A. Diagrama de flujo del proceso de la biorrefinería.

La simulación del proceso fue desarrollado en el paquete comercial Aspen Plus V9.0 (AspenTech: Technology, Inc., USA) con licencia para fines educativos, con el fin de establecer los balances de masa y energía de la biorrefinería, así mismo calcular los requerimientos de materias primas, consumibles, utilidades y energía. El modelo termodinámico NRTL (Non-Random Two-Liquid) fue utilizado para calcular los coeficientes de actividad de la fase líquida y la ecuación de estado de Hayden-O'Connell (HOC) fue utilizada para la descripción de la fase de vapor. Todos estos modelos son recomendados para modelar procesos donde intervienen triglicéridos/ácidos grasos y fermentación de azúcares (Hernández et al. 2014; Rincón, Moncada, and Cardona 2014).

Capacidad de planta.

Una capacidad de planta de 63202,88 kg/h de fruto de piñon seco y una operación continua de 8000 h/año para la biorrefinería fue establecida de acuerdo al análisis del mapeo del flujo de valor utilizando las herramientas Lean SIPOC (Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers) y VSM (Value Stream Mapping) propuesto por Rother and Shook en su libro "Aprendiendo ver" (Meudt, Metternich, and Abele 2017). Esta capacidad de planta

es recomendada por varios autores (Moncada et al. 2018), los cuales establecen que las biorrefinerías necesitan de una gran escala de procesamiento de biomasa para ser competitivas con las refinerías convencionales.

B. Modelado de la distribución en plantas de la biorrefinería.

Para el análisis de la distribución en planta por producto de la biorrefinería se utilizó el paquete comercial de simulación FlexSim V7.3 con licencia para fines educativos, dado que este software proporciona excelentes capacidades de visualización, modelado y análisis a través de una extensa biblioteca de objetos de modelado con fluidos (Malcom Beaverstock, Allen Greenwood, and William Nordgren 2014).

Para el presente caso de estudio se consideran eventos discretos y continuos, los cuales representan la dinámica de las operaciones del flujo logístico y acciones estocásticas de la biorrefinería. En la tabla 1, se muestra los principales datos considerados para el análisis de la distribución en planta de la biorrefinería. Adicionalmente, los centros de Acopios se encuentran ubicados en Jambelí - Santa Elena y Flavio Alfaro - Manabí y la biorrefinería está localizada en Portoviejo - Manabí de acuerdo al potencial de cultivos de la planta del piñon realizada por (MAGAP 2013).

Tabla 1. Datos para simulación en FlexSim.

Descripción	Cantidad	Fuente
Rendimiento de semilla	2Tn/ha/año	(FACT Foundation 2010).
Período de cosecha	4 veces/año	
Número de camiones por Centro de Acopio	2	(MAGAP 2013).
Tiempo máximo de estadía del fruto de piñon en Acopios	4 meses	(Budi Santoso, Budianto, and Muliarta Aryana 2012).
Capacidad de carga de cada camión	30 T	(CTPP 2017).
Tiempo de carga - camión	Mínimo: 1h Máximo: 1,125h	(La Asociación de Fabricantes y Distribuidores (AECO) 2017).
Tiempo de descarga - camión	Mínimo: 1h Máximo: 1,125 h	
Tipo de carga general	Unitarizada (sacos de 100 kg/unidad)	

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Diagrama de flujo del proceso de la biorrefinería.

Los resultados de las principales corrientes del balance de masa son mostrados en la tabla 2. Todos los datos del balance de masa son expresados en kg/h y proveen una indicación en el consumo de materias primas, materiales/insumos y eficiencia de las tecnologías. De la misma manera la tabla 3 y figura 1 indican

el SIPOC y VSM de la biorrefinería respectivamente, los cuales permiten visualizar los límites de la cadena de suministro de esta instalación. Tanto los proveedores y clientes de la biorrefinería a partir del fruto del piñon se encuentran entrelazados por el flujo logístico de la información manual y electrónica (Meudt, Metternich, and Abele 2017). Estas informaciones dependen estrictamente de la demanda y oferta de las materias primas y biocombustibles en el mercado ecuatoriano. En este caso, el cliente Petroecuador EP envía la señal electrónica del pronóstico mensual de la demanda insatisfecha de los biocombustibles a la biorrefinería y ésta a su vez procesa la información mediante la planificación diaria de producción, la cual posteriormente será comunicada a cada planta de la biorrefinería. Una vez planificada la producción en la instalación industrial, esta emite una información electrónica a los proveedores sobre el requerimiento de materia prima y materiales/insumos para la producción.

Tabla 2. Balances de masa de la biorrefinería.

Planta de biodiesel				
Ítem	Corrientes			
	Semilla piñon	Torta	Aceite	Biodiesel
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Presión (Pa)	100000	100000	100000	100000
Flujo másico (Kg/h)	37921,73	18415,56	8377,75	5553,72
Planta de bioetanol				
Ítem	Corrientes			
	Cáscara	Torta seca	Finos	Bioetanol
Temperatura (°C)	25	N/A	N/A	25
Presión (Pa)	100000	N/A	100000	100000
Flujo másico (Kg/h)	25281,15	14387,41	35922,28	7510,30

En cuanto a la información manual entre las partes participantes de la cadena de suministro (proveedores, biorrefinería y clientes), esta permitió determinar la frecuencia de envío de los flujos de materiales. Por ejemplo, para el caso de las materias primas la periodicidad de envío es semanal. Esto se debe a dos factores principales, el primero se refiere al condicionamiento del 20% de almacenamiento de seguridad de materia prima en la biorrefinería con el fin asegurar el funcionamiento continuo de esta instalación durante las 8000 h/año (Y. Wang et al. 2017), mientras tanto, el segundo factor corresponde a que el fruto del piñon es higroscópico y al porcentaje de ácidos grasos libres (FFA por sus siglas en inglés) del aceite de la semilla. Esto se encuentra acorde con otras investigaciones donde señalan que el aumento del porcentaje de humedad y FFA del aceite del piñon puede incrementarse durante un período de almacenamiento mayor a 4 meses, lo cual

es una desventaja para la calidad de la producción del biodiesel y bioetanol (Budi Santoso, Budiando, and Muliarta Aryana 2012).

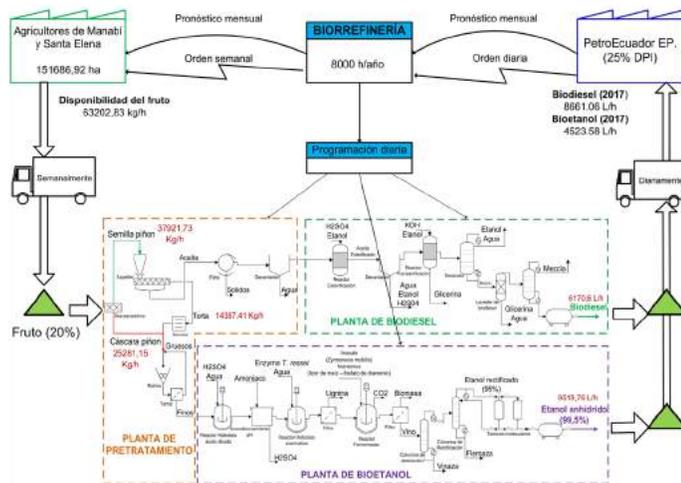
Con lo que respecta al envío de biocombustibles este es diario, dicha frecuencia se encuentra relacionada con el consumo diario de combustibles en las gasolineras del país. Por ejemplo, esto está acorde a la venta del combustible Ecopais, donde actualmente el 40% de las estaciones de combustible del Ecuador se encuentran distribuyendo la gasolina Ecopais (EL COMERCIO and PETROECUADOR EP 2017).

Tabla 3. SIPOC de la biorrefinería

Plantas	Proveedores (S)	Entradas (I)	Procesos (P)	Salidas (O)	Clientes (C)
Biodiesel	Agricultores de Manabí y Santa Elena	Semillas del fruto piñon (kg/h)	Pretratamiento Extracción de aceite Transesterificación Purificación Almacenamiento	Biodiesel	PETROECUADOR EP
Bioetanol		Cáscara del fruto de piñon (kg/h)	Pretratamiento Hidrólisis Fermentación Destilación Almacenamiento	Bioetanol grado carburante	

Por otro lado, la productividad obtenida en la biorrefinería fue de 5553,72 Kg/h (6170,80 L/h) y 7510,30 Kg/h (9518,76 L/h) para biodiesel y bioetanol respectivamente. Esto señala que la producción de bioetanol representó el 57,48% de la producción total de biocombustibles debido en parte a la integración másica de la torta de la semilla en la planta de bioetanol, la cual es expulsada después de la extracción del aceite por prensado en la planta de biodiesel.

Figura 1. Value Stream Mapping de la biorrefinería.



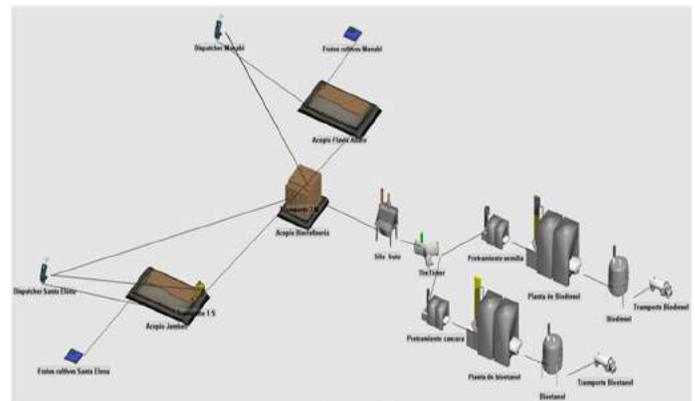
Fuente: Autores.

B. Análisis de la distribución en plantas de la biorrefinería.

La figura 2 muestra la representación gráfica del modelo de simulación de la biorrefinería a partir del fruto del piñon. Esta se encuentra conformada tanto por componentes estructurales (maquinaria, plantas de pretratamiento y transformación) y

componentes operativos (tasas de arribos, flujos de material e información, tiempos de procesos y transporte).

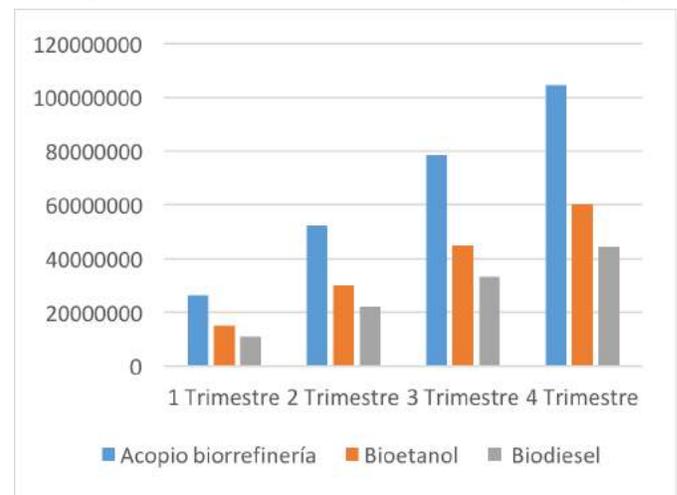
Figura 2. Representación gráfica del modelo de simulación.



Fuente: Autores.

Los resultados de la simulación con respecto al funcionamiento de la biorrefinería durante períodos trimestrales muestran que la actual distribución en planta de la biorrefinería tiene una articulación lineal ascendente durante el periodo de primer año (ver figura 3). Esto se encuentra acorde a otras biorrefinerías de materias primas de segunda generación donde indican que su producción de biocombustibles va aumentando progresivamente durante el transcurso de las 8000 h de operación (Rincón, Moncada, and Cardona 2014; W. C. Wang 2016).

Figura 3. Funcionamiento trimestral de la biorrefinería (Kg)

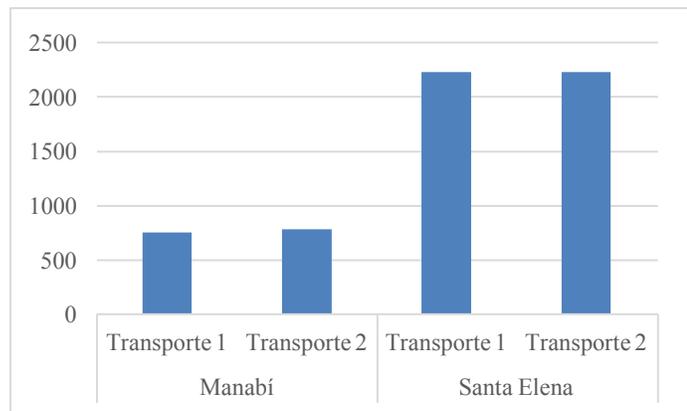


Fuente: Autores.

Por otra parte, la cantidad de viajes correspondientes al transporte del fruto del piñon hacia la biorrefinería fue mayor para el centro de Acopio de la Provincia de Santa Elena, representando para los dos transportes el 74,42% de total de viajes en el año (ver figura 4). Esto se encuentra acorde a la disponibilidad de materia prima existente en esta provincia (MAGAP 2013). Otros autores manifiestan que la optimización de la frecuencia de viajes depende estrictamente de la capacidad

de carga del transporte, disponibilidad de materia prima y caracterización de la carga general o a granel (Awudu and Zhang 2013; Ekşioğlu et al. 2009).

Figura 4. Cantidad de viajes entre centros de acopio y biorrefinería.



Fuente: Autores.

Con lo que respecta a la repartición de materia prima desde los centros de Acopio de Manabí y Santa Elena permiten a la biorrefinería satisfacer las necesidades de producción con un flujo continuo de fruto de piñon de 3773070 kg/semana. Este flujo logístico de material corrobora el análisis del VSM en el ítem III.A. Por otro lado, la consideración del 20% de almacenamiento de materia prima en la biorrefinería genera una espera (cola) de 378000 kg/semana, lo cual indica que la capacidad de producción de la biorrefinería puede aumentar y a la vez cubrir una mayor demanda insatisfecha de biocombustibles en el Ecuador. Sin embargo, debido a que la materia prima es higroscópica, esta puede causar problemas a futuro como la descomposición del fruto de piñon o aumento de %FFA en el aceite (Budi Santoso, Budianto, and Muliarta Aryana 2012) como se mencionó anteriormente en el análisis de los resultados del VSM de la biorrefinería. Por lo cual, es recomendable realizar un análisis más exhaustivo de balanceo de líneas de los flujos logísticos de entrada y salida de la biorrefinería como lo recomienda (Kurian et al. 2013).

IV. CONCLUSIONES.

El diseño conceptual y básico de la biorrefinería a partir del fruto de piñon fue analizada mediante la aplicación de procesos estocásticos. El balance de masa, análisis del VSM, y la simulación de los procesos de la biorrefinería fueron puntos determinantes para conocer el funcionamiento de esta instalación. Dado que el fruto del piñon es higroscópico fue necesario pactar información básica del funcionamiento logístico de esta materia prima de segunda generación.

Adicionalmente, este estudio permitió connotar que la distribución en planta de la biorrefinería se encuentra ligada principalmente al comportamiento del flujo logístico de la materia prima, frecuencia de envíos y cantidad de almacenamiento en cada centro de acopio. Por otro lado, la relevancia de la simulación en este tipo de bioindustrias da un soporte alternativo a las diferentes metodologías existentes.

Finalmente, este trabajo sirve como base para futuras investigaciones en escalamiento de biorrefinerías a partir de materias primas de segunda generación, por lo cual se recomienda profundizar en el análisis detallado de la cadena de suministro y en los procesos de transformación de la biorrefinería.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Fomento al Talento Humano (IFTH) del Ecuador por la financiación del trabajo. De igual forma, a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano a través del Semillero de Investigación de Bio-based Products and Processes y al Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo y la supervisión técnica para esta investigación.

REFERENCIAS

- Acevedo, Juan C, Jorge A Hernández, Carlos F Valdés, and Samir Kumar Khanal. 2015. "Analysis of Operating Costs for Producing Biodiesel from Palm Oil at Pilot-Scale in Colombia." *Bioresource Technology* 188: 117–23. https://ac.els-cdn.com/S0960852415000917/1-s2.0-S0960852415000917-main.pdf?_tid=551e53c0-d38e-11e7-b5ad-00000aacb362&acdnat=1511799573_4421c2b6038add132c57acb71b49093e (November 27, 2017).
- An, Heungjo, Wilbert E. Wilhelm, and Stephen W. Searcy. 2011. "Biofuel and Petroleum-Based Fuel Supply Chain Research: A Literature Review." *Biomass and Bioenergy* 35(9): 3763–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.021>.
- La Asociación de Fabricantes y Distribuidores (AECO). 2017. *Recomendaciones AECOC Para La Logística (RAL)*.
- Awudu, Iddrisu, and Jun Zhang. 2013. "Stochastic Production Planning for a Biofuel Supply Chain under Demand and Price Uncertainties." *Applied Energy* 103: 189–96. https://ac.els-cdn.com/S0306261912006666/1-s2.0-S0306261912006666-main.pdf?_tid=baff2092-d088-11e7-a1d4-00000aacb360&acdnat=1511467321_6260a346b4fe81ed8b9cfa78cca119e4 (November 23, 2017).
- Budi Santoso, Bambang, Aris Budianto, and Igp Muliarta Aryana. 2012. "Seed Viability of *Jatropha Curcas* in Different Fruit Maturity Stages after Storage." *Nusantara Bioscience* 4(3): 2087–3948. https://www.researchgate.net/profile/Bambang_Budi_Santoso2/publication/293822838_Seed_viability_of_Jatropha_curcas_in_different_fruit_maturity_stages_after_storage/links/56bc52ee08ae70d57b4066f3.pdf (August 23, 2017).
- Collazos Valencia, Cesar Julio. 2013. "Rediseño Del Sistema Productivo Utilizando Técnicas de Distribución de Planta. Caso de Estudio Planta Procesadora de Alimentos." Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- EL COMERCIO, and PETROECUADOR EP. 2017. "La Ecopaís Está Disponible En El 40% de Las Estaciones | El

- Comercio.”
<http://www.elcomercio.com/actualidad/gasolina-ecopais-disponible-estaciones-ecuador.html> (December 13, 2017).
- CTPP. 2017. “Cámara de Transporte Pesado de Pichincha.” *Cámara de transporte pesado de Pichincha*. <https://ctpp.org.ec/noticias/las-partes-importantes-que-se-deben-considerar-para-calculiar-el-precio-del-servicio-del-transporte-flete/> (December 6, 2017).
- Demirbas, Ayhan. 2009. “Biorefineries: Current Activities and Future Developments.” *Energy Conversion and Management* 50(11): 2782–2801.
- Ekşioğlu, Sandra D., Ambarish Acharya, Liam E. Leightley, and Sumesh Arora. 2009. “Analyzing the Design and Management of Biomass-to-Biorefinery Supply Chain.” *Computers and Industrial Engineering* 57(4): 1342–52.
- FACT Foundation. 2010. *THE JATROPHA HANDBOOK - From Cultivation to Application*. Primera. The Netherlands. https://www.doc-developpement-durable.org/file/Huiles-vegetales-noix/Fiches_plantes/jatropha/fact_foundation_jatropha_handbook_2010.pdf (September 26, 2017).
- Granjo, Jos FO, Belmiro PM Duarte, and Nuno MC Oliveira. 2017. “Integrated Production of Biodiesel in a Soybean Biorefinery: Modeling, Simulation and Economical Assessment.” *Energy* 129: 273–91. http://ac.els-cdn.com/S0360544217305248/1-s2.0-S0360544217305248-main.pdf?_tid=1c2c4d80-9269-11e7-a8c9-00000aacb362&acdnat=1504636760_2e516d553915024ae810806aeb34b27a (September 5, 2017).
- Hadi-Vencheh, A, and A Mohamadghasemi. 2013. “An Integrated AHP–NLP Methodology for Facility Layout Design.” *Journal of Manufacturing Systems* 32: 40–45. [http://www.khuisf.ac.ir/prof/images/Uploaded_files/6\[8546377\].PDF](http://www.khuisf.ac.ir/prof/images/Uploaded_files/6[8546377].PDF) (November 27, 2017).
- Hernández, Valentina et al. 2014. “Techno-Economic and Environmental Assessment of an Olive Stone Based Biorefinery.” *Resources, Conservation and Recycling*.
- Judd, Jason D., Subhash C. Sarin, and John S. Cundiff. 2012. “Design, Modeling, and Analysis of a Feedstock Logistics System.” *Bioresourcetechnology* 103(1): 209–18.
- Kurian, Jiby Kudakasseril et al. 2013. “Feedstocks, Logistics and Pre-Treatment Processes for Sustainable Lignocellulosic Biorefineries: A Comprehensive Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25: 205–19. http://ac.els-cdn.com/S1364032113002712/1-s2.0-S1364032113002712-main.pdf?_tid=9e31a038-631a-11e7-b48f-00000aacb35f&acdnat=1499435343_bbb806f13b73fe9e3f90e1a98192dd88 (July 7, 2017).
- Lopes De Carvalho, Ariovaldo, Carlos Henggeler Antunes, and Fausto Freire. 2016. “Economic-Energy-Environment Analysis of Prospective Sugarcane Bioethanol Production in Brazil.” *Applied Energy* 181: 514–26.
- MAGAP. 2013. *Mapa de Zonificación Agroecológica de Piñon*.
- Meudt, Tobias, Joachim Metternich, and Edberhard Abele. 2017. “Value Stream Mapping 4.0: Holistic Examination of Value Stream and Information Logistics in Production.” *CIRP Annals* 66(1): 413–16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850617300057> (November 24, 2017).
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. 2016. *1 Balance Energético Nacional 2016 - Año Base 2015*. Quito - Ecuador.
- Moncada, Jonathan et al. 2018. “Techno-Economic and Ex-Ante Environmental Assessment of C6 Sugars Production from Spruce and Corn. Comparison of Organosolv and Wet Milling Technologies.” *Journal of Cleaner Production* 170: 610–24.
- Moncada B, Jonathan, Valentina Aristizábal M, and Carlos A. Cardona A. 2016. “Design Strategies for Sustainable Biorefineries.” *Biochemical Engineering Journal* 116: 122–34.
- Ojaghi, Yosra et al. 2015. “Production Layout Optimization for Small and Medium Scale Food Industry.” *Procedia CIRP* 26: 247–51. www.sciencedirect.com (November 21, 2017).
- Pazmiño-Sánchez, Joffre, Yadira Vargas-García, and Javier Dávila-Rincón. 2017. “Perspectivas de Las Biorrefinerías Y Situación Actual de Los Biocombustibles En Ecuador Como País Emergente.” *Perfiles* 18(2): En prensa.
- PETROECUADOR EP. 2015. *Informe Estadístico 2015*. Quito -Ecuador. <http://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/06/INFORME-ESTADÍSTICO-2015.pdf> (December 6, 2017).
- Rincón, Luis E. et al. 2015. “Optimization of the Colombian Biodiesel Supply Chain from Oil Palm Crop Based on Techno-Economical and Environmental Criteria.” *Energy Economics* 47: 154–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2014.10.018>.
- Rincón, Luis E., Jonathan Moncada, and Carlos A. Cardona. 2014. “Analysis of Potential Technological Schemes for the Development of Oil Palm Industry in Colombia: A Biorefinery Point of View.” *Industrial Crops and Products* 52: 447–65.
- Wang, Wei Cheng. 2016. “Techno-Economic Analysis of a Bio-Refinery Process for Producing Hydro-Processed Renewable Jet Fuel from Jatropha.” *Renewable Energy* 95: 63–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.107>.
- Wang, Yu et al. 2017. “Impact of the Biorefinery Size on the Logistics of Corn Stover Supply - A Scenario Analysis.” *Applied Energy* 198: 360–76. http://ac.els-cdn.com/S0306261917302878/1-s2.0-S0306261917302878-main.pdf?_tid=83b1fd66-6329-11e7-a4aa-00000aab0f02&acdnat=1499441741_95c6fe4ba28147d3f8c3d56e2dbd43bc (July 7, 2017).
- World Energy Council. 2010. “Biofuels : Policies, Standards and Technologies.” : 152. www.worldenergy.org.

Sistema de control para el posicionamiento del servomecanismo de una cámara dedicada a identificar vehículos infractores de semáforo mediante visión artificial

Control system for the servo device positioning of camera dedicated to identify vehicles violations by traffic light through artificial vision

Christiam Núñez, Jesús Rodríguez, Luis Zabala, John Vera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

Instituto de Posgrado y Educación Continua (IPEC)

christiamne@gmail.com , jesus.rodriguez.flores.2009@gmail.com, luis.zabala@epoch.edu.ec,
johnstrip@hotmail.com

Resumen – El objetivo es desarrollar un sistema de control para el posicionamiento del servomecanismo de una cámara de identificación de vehículos infractores por semáforo mediante visión artificial. El tipo de investigación es experimental de campo siendo el procedimiento más indicado para relaciones de causa-efecto, con esta investigación se podrá tener un patrón de control destinado a orientación y detección de cámaras de vigilancia de tráfico, aportando a la sociedad con un instrumento de control vehicular, la investigación consta de dos fases: sistemas de control y visión artificial. En la fase sistemas de control se realiza un estudio para determinar la dinámica de la planta expresada en función de transferencia, empleando la identificación ARX (auto-regresivo con entrada exógena) para identificación del comportamiento lineal, posterior se desarrolló un controlador P.I (proporcional integrador) el cual se adapta al sistema, se realiza un diseño para un control lento y otro para el control rápido con diferentes variables de control. En la segunda fase se desarrolla en Matlab un algoritmo para la identificación del color rojo del semáforo empleando filtros, esta señal de identificación excita al controlador del servo mecanismo para que se mueva según el punto de selección. Las pruebas y resultados del controlador se las realiza en tres periodos: día, tarde, noche en cada uno se aplicó control rápido y lento mediante un tamaño de muestras aleatorio simple. En el

periodo día y tarde tanto con un control rápido y lento mostró una efectividad del 100%, para la prueba con un controlador rápido y lento en el periodo noche con una muestra de 392 se tuvo un porcentaje de ejecución con fallas del 1% y de ejecuciones acertadas del 99%.

Palabras Clave: <Tecnología Y Ciencias De La Ingeniería>, < Visiónartificial>, <Sistemas De Control >, <Detención De Vehículos Por Semáforo Rojo>, <Ingeniería Electrónica>, <Controlador>, <Riobamba (Cantón)>

Summary – The objective is to develop a control system for the servo device positioning of a camera detecting red light violations using artificial vision. The investigation was experimental due to the cause-effect relationship, with this research it will be possible to have a control pattern aimed at orientation and detection of traffic surveillance cameras, contributing to society with a vehicular control instrument, this investigation consisted of two phases: control systems and artificial vision. In the control system phase, a study was carried out to determine the dynamics of the plant system phase in a transfer function using ARX (autoregressive with exogenous input) to identify the linear behavior, then a proportional integral (PI) controller was developed adapting to the system for its control. A desing was done for a

slow control and fast control with different control variables. In the second phase, an algorithm was developed in Matlab to process images aiming at identifying the red light using filters. This stop sign made the servo device controller move according to set point. The controller test and results were carried out during day, afternoon and evening using a fast and slow control for each one. Using the simple random samples showed an efficiency of 100% during day and afternoon with a fast and slow control. For the fast and slow controller test during evening with a sample of 392, failures of 1% and success of 99% were gotten.

key words: <Technology And Engineering Science>, <Artificial Vision>, <Control Systems>, <Red-Light Violation Vehicle Detainment>, <Electronics Engineering>, <Controller>, <Riobamba (Canton)>

I. INTRODUCCIÓN

La automatización nace por la necesidad del hombre en querer mayor producción a menor costo, engranes y piñones mecánicos ayudaron a las primeras máquinas industriales hacer automatizadas, posterior la electricidad y la electrónica ayudaron a que la automatización sea más exacta en labores específicas y detalladas de las máquinas.

Hoy en día los estudios de sistemas de control en robots, drones, biotecnología y aviones han sido primordiales y de mayor enfoque, en la actualidad ayudando siempre hacerle más fácil la vida al ser humano.

La investigación que se presenta en este documento hace relación a una problemática de la sociedad que puede desencadenar incidente y accidentes, esto es infracción que se comete a menudo en la vía de cualquier ciudad cuando un vehículo infringe la luz roja de un semáforo, llegando esta acción a causar varios problemas desde una multa hasta la muerte de peatones y

conductores de vehículos. Uno de los mayores antecedentes por los cuales los conductores invaden la luz roja es por estar en estado etílico, disminuyendo su capacidad de cobertura visual del conductor.

Entre los factores que contribuyen a los accidentes en Ecuador están: impericia, imprudencia, embriaguez, mal rebasamiento, invadir carril, irrespeto a luz roja, mal estacionamiento, no respetar señales, embriaguez e imprudencia del peatón esto genera un 97%. (Andes. Quito-Ecuador. Recuperado de :<http://www.andes.info.ec/es/noticias/mayoria-accidentes-transito-ecuador-debe-fallas-humanas-segun-estudio.html>)

En la actualidad hay sistemas de multas que captan en video vehículos por una posible infracción que pueden también captar infractores que se pasan la luz roja del semáforo, pero dicho sistema no es dedicado únicamente para controlar a vehículos que invaden la luz roja del semáforo. Esto lleva a formular la siguiente pregunta ¿Se puede implementar un sistema de control automático con visión artificial capaz de reaccionar a la activación de la luz roja del semáforo para identificar un vehículo infractor con la utilización de una sola cámara de visión y procesamiento de imágenes por computadora?

Aplicando el estudio de la ingeniería de sistemas de control y la de visión por computadora se presenta el estudio del desarrollo de un sistema de control de un servo mecanismo de una cámara de control de invasión de semáforo utilizando visión artificial, cuyo objetivo final será verificar si realmente se puede realizar un control a este tipo de sistemas utilizando visión artificial y con una sola cámara de video.

II. METODOLOGÍA

SOLUCION CASO DE ESTUDIO

El proyecto a investigar trata de verificar si es posible realizar un sistema de control de posicionamiento de un servomecanismo de identificación de vehículos que infringieran la luz roja del semáforo con una sola cámara, se utilizó un tipo de investigación experimental ya que es el procedimiento más completo para investigar relaciones de causa-efecto.

Con el fin de recolectar la información necesaria para responder a las preguntas de investigación, se utilizará un tipo de diseño de investigación experimental y de laboratorio. Las variables directas a investigar son: grados de posicionamiento, nivel de luz o atenuación de luz, velocidad de vehículo en infracción, distancias de captura de video. El método que nos ayudaran a la interpretación de los datos de las variables es un muestreo aleatorio simple de las ejecuciones del sistema tomando como población el número de sucesiones de colores que se da en ciertos periodos en semáforo dentro de un día.

El estudio que se desarrolló en la investigación para la obtención de resultados tiene dos fases marcadas como son la fase de desarrollo del sistema de visión artificial y la fase de desarrollo de sistema de control. Partiendo del siguiente esquema planteado.

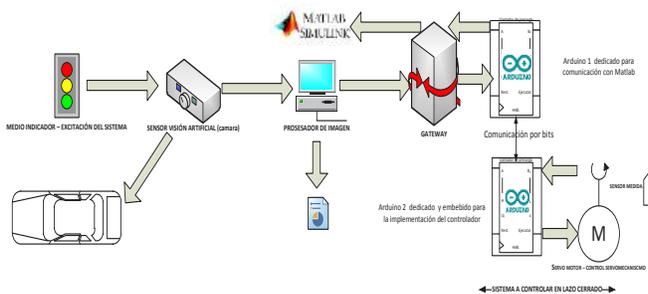


Figura 1. Esquema general del sistema implementado

A. Fase de desarrollo del sistema de visión artificial

Se utilizó Matlab como la plataforma de procesamiento para imagen, en la que se realizó la programación de identificación de colores mediante el siguiente algoritmo como se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

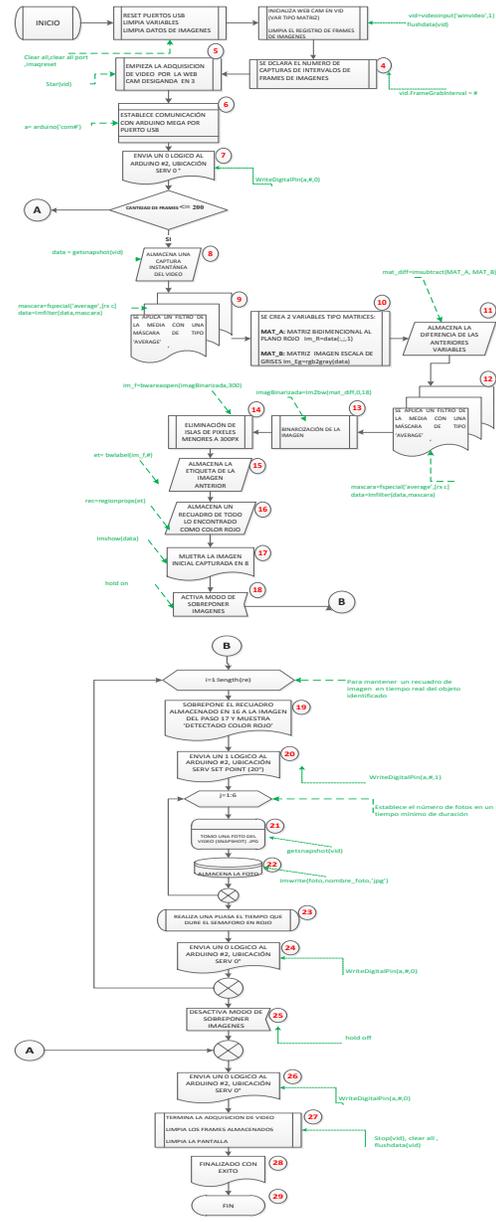


Figura 2. Esquema general de la red de comunicación, para la automatización

Para poder comunicar y realizar el controlador se utiliza dos tarjetas Arduino Mega,

El análisis previo a la codificación del programa de visión artificial en Matlab es la comunicación entre Matlab y Arduino estableciendo una puerta de enlace de comunicación, esta puerta de comunicación proporciona Matlab con librerías las cuales se instalan desde la misma página web de Matlab.

Luego se indica a la placa de Arduino que va establecer comunicación con la plataforma de Matlab mediante una codificación que se deberá correr en la misma placa Arduino, código libre que está disponible en la web.

El desarrollar este tipo de dispositivos que estarán bajo condiciones exteriores expuestos a la luz solar conlleva a un estudio de filtros los cuales se observan en el algoritmo anterior, utilizando un filtro de media con una máscara tipo 'average' propia de Matlab, para corregir brillos de los marcos de imágenes capturados.

B. Fase de desarrollo del sistema de control

Para un control de posición del servo mecanismo de la cámara se parte del estudio y desarrollo de una red maestro esclavo (Arduinos) la cual conlleva a una comunicación Matlab con el control del sistema. El procesamiento de imagen detectará el color rojo y este será el set point del controlador, es decir emitirá una orden de set point entre maestro esclavo. Esta fase de mayor estudio tiene dos procesos:

Identificación de la planta del sistema

Para obtener el modelo de la planta del sistema se realiza pruebas en lazo abierto del sistema dando órdenes de escritura desde Matlab al servo motor y dando lectura de la posición del mismo utilizando funciones de Matlab como:

```
writePosition(s,0) % escribe la posición en 0º
writePosition(s,0.33333) % escribe la posición en 20º
pos(contador) =readPosition(s)*180
```

Con la finalidad de leer el modelo del sistema del servomecanismo se procede a graficar en Matlab su comportamiento en lazo abierto, excitándolo desde el programa y posterior obteniendo cuarenta muestras de su comportamiento como se muestra en la tabla 1

Muestras	Lectura en grados						
1,00E-01	0	1,10E+00	19,8	2,10E+00	19,8	3,10E+00	0
2,00E-01	1,8	1,20E+00	19,8	2,20E+00	18	3,20E+00	0
3,00E-01	3,6	1,30E+00	19,8	2,30E+00	16,2	3,30E+00	0
4,00E-01	5,4	1,40E+00	19,8	2,40E+00	14,4	3,40E+00	0
5,00E-01	7,2	1,50E+00	19,8	2,50E+00	12,6	3,50E+00	0
6,00E-01	10,8	1,60E+00	19,8	2,60E+00	10,8	3,60E+00	0
7,00E-01	12,6	1,70E+00	19,8	2,70E+00	7,2	3,70E+00	0
8,00E-01	14,4	1,80E+00	19,8	2,80E+00	5,4	3,80E+00	0
9,00E-01	16,2	1,90E+00	19,8	2,90E+00	3,6	3,90E+00	0
1,00E+00	18	2,00E+00	19,8	3,00E+00	1,8	4,00E+00	0

Tabla 1. Lectura de grados en el recorrido del servo mecanismo de 0 a 20º con 40 muestras cada 1.00E-1seg.

Con la tabla anterior se generar la siguiente figura que representa la señal respuesta de salida del sistema.

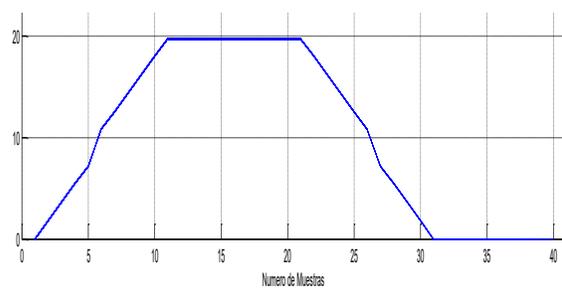


Figura 3. Gráfica de Grados vs muestras del recorrido del servo mecanismo de 0 a 20º

En la respuesta del sistema de 0º a 20º se puede ver que tiene dos comportamientos como se muestra en la figura 4.

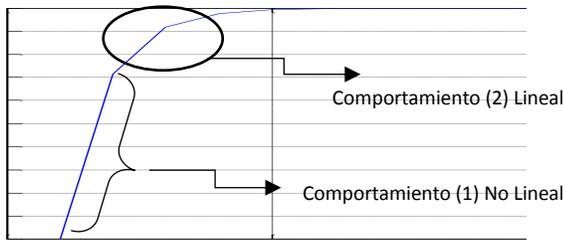


Figura 4. Grafica de Grados vs muestras del recorrido del servo mecanismo de 0 a 20°

En el comportamiento número 1 de la figura 4 se observa un comportamiento lineal equivalente a un sistema de primer orden, tipo cero semejante a $G(s) = \frac{k}{\tau s + 1}$. El comportamiento número 2 de la figura 4 se puede observar un comportamiento no lineal semejante al control de gradiente, donde la velocidad de cambio en el dispositivo se encuentra saturada, siendo esto equivalente a una gobernación de velocidad la cual no puede ser superada, lo que conlleva a un desplazamiento a velocidad constante en ese intervalo de no linealidad.

Ayudándonos de la identificación ARX (AutoRegresive with exogenous input, auto-regresivo con entrada exógena) para la identificación del comportamiento lineal bajo la asunción o procedencia del modelo $G(s)$ planteado se llega a obtener la función de transferencia de la planta del sistema: donde

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} \quad (1)$$

De la que discretizando se tiene:

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1}$$

$$\therefore s = \frac{z - 1}{T_0 S}$$

$$G(z) = \frac{k}{\tau \left(\frac{z - 1}{T_0 S}\right) + 1}$$

$$G(z) = \frac{k}{\frac{\tau}{T_0 S} \cdot z - \frac{\tau}{T_0 S} + 1}$$

$$G(z) = \frac{k}{\frac{\tau}{T_0 S} z + \left(1 - \frac{\tau}{T_0 S}\right)} \quad (2)$$

Se considera el diagrama de bloque de la estructura ARX de la forma:

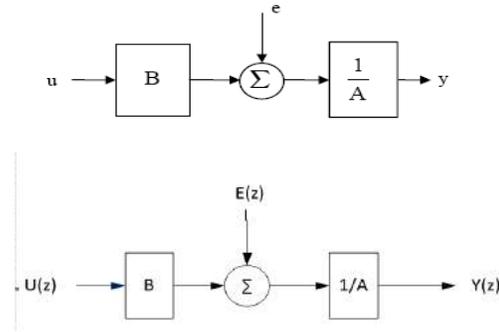


Figura 5. Diagrama de bloques estructura ARX (AutoRegresive with exogenous input, auto-regresivo con entrada exógena)

En consideración de la estructura planteada bajo el esquema de identificación considerando en el diagrama de bloque de la estructura ARX donde $E(z) = 0$

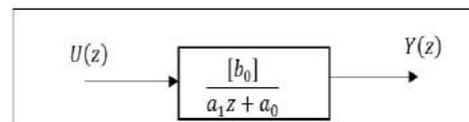


Fig.6. Diagrama de bloque de la estructura ARX donde $E(z) = 0$

$$a_1 \cdot z \cdot Y(z) + a_0 \cdot Y(z) = b_0 U(z) \quad (3)$$

Al dividir para z

$$Y(z) = \theta_1 \cdot z^{-1} \cdot U(z) - \theta_2 \cdot z^{-1} \cdot Y(z) \quad (4)$$

Bajo el concepto de identificación, la obtención de parámetros en conjunto con los atrasos de las señales de entrada- salida, permiten predecir la salida de la misma.

$$\hat{Y}(z) = \theta_1 \cdot z^{-1} \cdot U(z) - \theta_2 \cdot z^{-1} \cdot Y(z) \quad (5)$$

Si: $\frac{\partial J}{\partial \theta_2} = 0$ entonces:

utilizando una función de costo globalizadora la misma que permite encontrar el valor de los parámetros θ que permiten el mejor ajuste de la predicción de $\hat{Y}(z)$. La función de costo analítica a minimizar es la que totaliza la suma del cuadrado del error de predicción.

$$J = \sum_{i=1}^N (Y(z) - \hat{Y}(z))^2 \quad (6)$$

Realizando un análisis matemático tal que:

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_1} = 0 \quad \wedge \quad \frac{\partial J}{\partial \theta_2} = 0$$

Analizando: $\frac{\partial J}{\partial \theta_1}$

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_1} = -2 \sum_{i=1}^N Y(z)(z^{-1} \cdot U(z)) - \hat{Y}(z)(z^{-1} \cdot U(z)) \quad (7)$$

Al remplazar en la ecuación de la salida de predicción ecuación 5 se tiene:

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_1} = -2 \sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot U(z)) - \theta_1(z^{-1}U(z)^2 + \theta_2(z^{-1}Y(z))(z^{-1}U(z))] \quad (8)$$

si $\frac{\partial J}{\partial \theta_1} = 0$ entonces:

$$-\theta_1 \sum_{i=1}^N [(z^{-1}U(z))^2] + \theta_2 \sum_{i=1}^N [(z^{-1}Y(z))(z^{-1}U(z))] = -\sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot U(z))] \quad (9)$$

Ahora analizando $\frac{\partial J}{\partial \theta_2}$

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_2} = 2 \sum_{i=1}^N [(Y(z) \cdot (z^{-1} \cdot Y(z)) - \hat{Y}(z) \cdot (z^{-1} \cdot Y(z)))] \quad (10)$$

$$\theta_1 \sum_{i=1}^N (z^{-1}U(z))(z^{-1}Y(z)) - \theta_2 \sum_{i=1}^N (z^{-1}Y(z))^2 = \sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot Y(z))] \quad (11)$$

Con las ecuaciones 9 y 11 se plantea un sistema matricial de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N [(z^{-1}U(z))^2] & -\sum_{i=1}^N [(z^{-1}Y(z))(z^{-1}U(z))] \\ \sum_{i=1}^N (z^{-1}U(z))(z^{-1}Y(z)) & -\sum_{i=1}^N (z^{-1}Y(z))^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot U(z))] \\ \sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot Y(z))] \end{bmatrix}$$

Donde:

$$\theta_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (z^{-1}Y(z))^2] \cdot [\sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot U(z))]] - [\sum_{i=1}^N [(z^{-1}U(z))^2]] \cdot [\sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot Y(z))]]}{[\sum_{i=1}^N (z^{-1}U(z))^2] [\sum_{i=1}^N (z^{-1}Y(z))^2] - [\sum_{i=1}^N (z^{-1}U(z))(z^{-1}Y(z))]}$$

(12)

$\theta_2 =$

$$\frac{[\sum_{i=1}^N (z^{-1}U(z))(z^{-1}Y(z))] \cdot [\sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot U(z))]] - [\sum_{i=1}^N [(z^{-1}U(z))^2]] \cdot [\sum_{i=1}^N [Y(z)(z^{-1} \cdot Y(z))]]}{[\sum_{i=1}^N (z^{-1}U(z))^2] [\sum_{i=1}^N (z^{-1}Y(z))^2] - [\sum_{i=1}^N (z^{-1}U(z))(z^{-1}Y(z))]}$$

(13)

Al tener un modelo expresado de θ_1 y θ_2 en función de la variable discreta z de acuerdo con el paso 6 se tiene:

$$\theta_1 = \frac{b_0}{a_1} = \frac{k}{\left(\frac{\tau}{T_0S}\right)}$$

$$\theta_2 = \frac{a_0}{a_1} = \frac{1 - \frac{\tau}{T_0S}}{\left(\frac{\tau}{T_0S}\right)}$$

Se procede a encontrar el valor de τ :

$$\theta_2 \cdot \left(\frac{\tau}{T_0S}\right) = 1 - \frac{\tau}{T_0S}$$

$$\tau \cdot \theta_2 = T_0S - \tau$$

$$\tau = \frac{T_0S}{\theta_2 + 1}$$

T_0S ya es un valor conocido

Se procede a obtener la ganancia k:

$$\theta_1 = \frac{k}{\left(\frac{\tau}{T_0S}\right)}$$

$$k = \theta_1 \cdot \left(\frac{\tau}{T_0S}\right)$$

$$k = \frac{\theta_1}{T_0S} \cdot \left(\frac{T_0S}{\theta_2 + 1}\right)$$

$$k = \frac{\theta_1}{T_0S} \cdot \left(\frac{T_0S}{\theta_2 + 1}\right)$$

El comportamiento no lineal permite establecer la máxima razón de cambio para \dot{Y} , es decir plantear un control de gradiente:

$$\dot{Y}_{max} = \frac{\Delta Y}{\Delta t}$$

Con esta información se puede realizar un modelamiento de la planta verificando su comportamiento, el modelamiento se lo realizó en simulink: como lo muestra la figura 7.

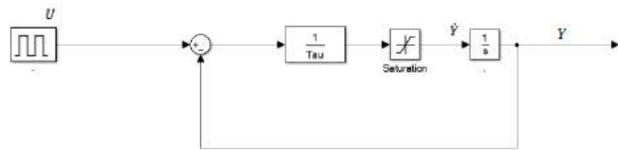


Figura 7. Diagrama de bloques en consideración de no linealidad y la lineal del sistema

Desarrollo del controlador del sistema

Debido a la dinámica de la planta del sistema se planteo un controlador proporcional integrador (P.I), partiendo de pruebas desde un controlador proporcional (P). Cuya ecuación en función de la frecuencia es

$$G_c(s) = \frac{J}{TN} + \frac{1}{TN} \cdot \frac{1}{s}$$

Donde al implementar en un diagrama de bloques y posterior la discretización del mismo se tiene el siguiente diagrama de bloques:

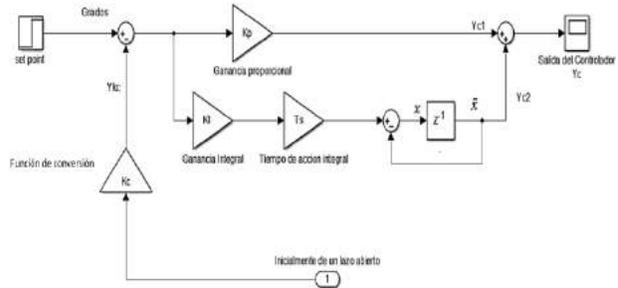


Figura 8. Esquema de sistema de control discretizado.

Para el desarrollo de la ecuación de estado del sistema se valió de una función de escalamiento para poder convertir los valores de bits a grados o viceversa.

$$Y_{kc} = \frac{(Y_{kc}MAX - Y_{kc}MIN)}{(b_{pos}MAX - b_{pos}MIN)} \cdot (b_{pos}LEIDA - b_{pos}MIN) + Y_{kc}MIN$$

tomando en cuenta que el sistema de control implementado es un controlador en tiempo discreto, bajo la consideración que la implementación se la realiza sobre un

microcontrolador con una unidad de procesamiento. En relación a la figura 8 de diagrama de bloques se planteó las siguientes ecuaciones de estado iniciales:

$$b_{testigo} = 0$$

While (sistema = activo)

$$Y_{kc} = \frac{(Y_{kcMAX} - Y_{kcMIN})}{(b_{posMAX} - b_{posMIN})} \cdot (b_{posLEIDA} - b_{posMIN}) + Y_{kcMIN}$$

$$Bx = x + Ts \cdot KI \cdot (set\ point - Y_{kc})$$

$$Yc = x + k \cdot (set\ point - Y_{kc})$$

$$b_{testigo} = not(b_{testigo})$$

Este sistema inicial conlleva a implementar el controlador P.I con un filtro exponencial y posterior las ecuaciones de estado del mismo.

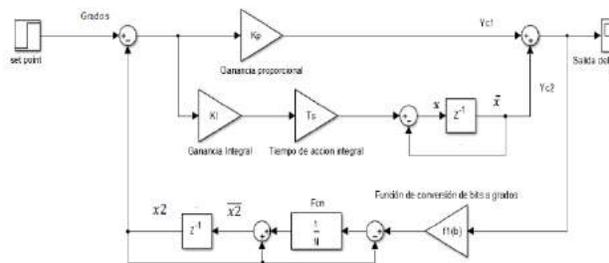


Figura 9. Esquema de sistema de control discreteado con filtro.

En base a la figura 9 se describen las siguientes ecuaciones de estado:

$$bt = 0$$

$$x = 0$$

$$x2 = 0$$

$$Ts = inicial\ 0$$

While (sistema = activo)

Sp = lectura de matlab en grados

EpLEIDA =

lectura del estado del potenciómetro

$$Ep = \frac{(E_{pMAX} - E_{pMIN})}{(b_{posMAX} - b_{posMIN})} \cdot (E_{pLEIDA} - b_{posMIN}) + E_{pMIN}$$

$$Error_{pos} = Sp - x2$$

$$Yc1 = Error_{pos} * Kp$$

$$Yc2 = x$$

$$Yc = Yc1 + Yc2$$

$$Bx = Error_{pos} * KI * Ts + x$$

$$Bx2 = x2 + \frac{1}{N} (f1(b) - x2)$$

$$x = Bx$$

$$x2 = Bx2$$

Escribir al servo motor (Yc)

bt = not(bt)

end

De acuerdo con la lectura del bit testigo que se muestra en la figura 10, se puede encontrar el periodo de muestreo T_s , esencial variable al momento de tratar sistemas de control discreto sobre un microcontrolador (Arduino)

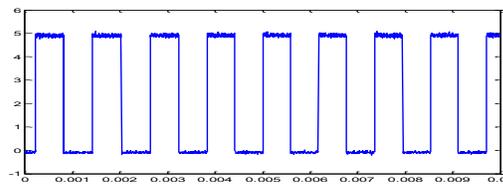


Figura 10. Lectura bit testigo.

$$Ts = \frac{T_{testigo}}{2}$$

$$Ts = \frac{0,00122}{2}$$

$$Ts = 0,00061\ seg$$

C. Fase de implementación del sistema

Para la fase de implementación del sistema se valió del siguiente sistema maestro esclavo de conexión utilizando dos arduinos: Arduino 1 como intérprete de comunicación entre Matlab y el controlador, Arduino 2 dedicado únicamente como controlador donde están las ecuaciones de estas desarrolladas mostradas antes.

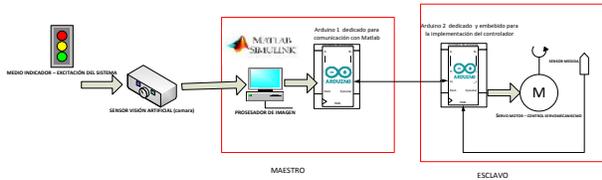


Figura 11. Esquema general maestro esclavo del sistema

El montaje del servo mecanismo se lo desarrolla en un sistema de dos grados de libertad para cámaras conocido como pan tilt, del cual solo se ocupó el espacio para la ubicación del servo motor vertical. Las conexiones entre Maestro y esclavo se muestran en la figura 12

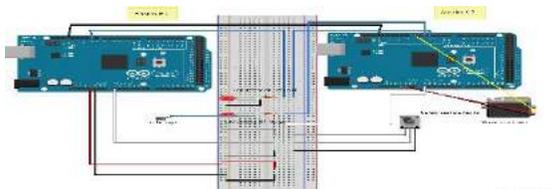


Figura 12. Esquema de conexión maestro esclavo del sistema

III. RESULTADOS

Para validar la investigación de campo se realizaron las siguientes pruebas que se muestran a continuación, partiendo del estudio de controladores P.I.D se encuentran las variables de proporción, integración y derivación, para controlar el sistema de manera rápida y lenta, aclarando que dichas variables se las toma por experiencia de sintonía del autor de la investigación.

Valores Controlador Rápido		
Denominación	Variable	Valor
Ganancia proporcional	Kp	1
Ganancia Integral	Ki	0
Cantidad de muestras ponderadas para el establecimiento del valor	N	100000000

Tabla 2. Valores para un controlador rápido

Valores Controlador Lento		
Denominación	Variable	Valor
Ganancia proporcional	Kp	0,1
Ganancia Integral	Ki	0

Cantidad de muestras ponderadas para el establecimiento del valor	N	1,25
-------------------------------------------------------------------	---	------

Tabla 3. Valores para un controlador lento

Prueba del controlador expuesto a una perturbación:

En esta prueba se compara la lectura del posicionamiento del servo mecanismo con el controlador y sin controlador, agregándole un peso de 32,2 grados como perturbación. Los resultados se muestran en la figura 13:

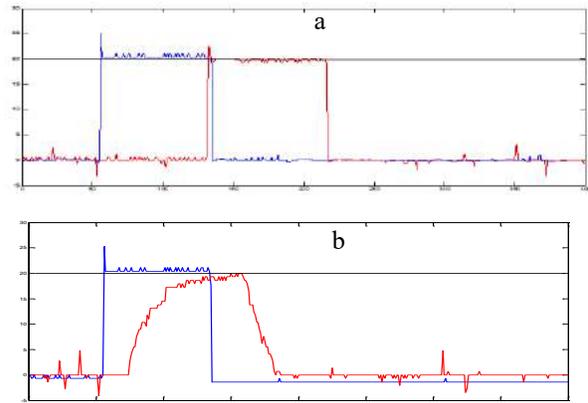


Figura 13. Comparación de la respuesta de posicionamiento lazo abierto y cerrado: a) utilizando un controlador rápido, b) utilizando un controlador lento.

Prueba de funcionamiento del controlador durante todo el día:

Para una mejor lectura y apreciación de resultados se divide al día en tres periodos: día, tarde, noche, ya que el nivel de luz afecta en su mediada al controlador, ya que el mismo se ejecuta dependiendo de una orden visual ejecutada por Matlab. Rescatando por cada periodo evaluado los siguientes datos con un controlador rápido:

	Intervalo de tiempo de estudio	Tiempo total horas	Tiempo total segundos	Total de interacciones luz roja (Población)
Periodo Día	05h00 am - 13h00 pm	8	28800	823
Periodo Tarde	13h00 pm - 18h00 pm	5	18000	514
Periodo Noche	18h00 pm - 05h00 am	11	39600	1131

Tabla 4. Información sobre periodos de estudio en la comprobación del controlador excitado por la luz roja del semáforo.

Periodo en el día

El total de tiempo de interacciones del color rojo en el semáforo en el día es elevado se realiza un análisis estadístico utilizando una muestra aleatoria simple tomando en cuenta la población según la tabla 4, se obtuvo las muestras necesarias para poder muestrear la interacción en este periodo, llegando a tenerla siguiente tabla:

Periodo de análisis en el día	
Hora inicio prueba	8:00 AM
Hora final prueba	11:37:00 AM
Luxes inicio prueba	123340 lux
Luxes Fin prueba	133456 lux
Duración Tiempo prueba luz roja	15 seg
Duración Tiempo prueba luz verde	15 seg
Duración Tiempo prueba luz tomate	5 seg
Duración de un per**iodo completo	35 seg
Número de muestras	347

Tabla 5. Información sobre periodos de estudio en la comprobación del controlador excitado por la luz roja del semáforo.

De la misma se pudo obtener los siguientes resultados de accionamiento correcto del controlador mediante excitación de la luz roja por medio de Matlab.

Evaluación ejecución controlador	
Número de ejecuciones acertadas	347
Número de ejecuciones fallidas	0

Tabla 6. Evaluación de la prueba de un controlador rápido durante el día.

Mediante porcentajes podemos observar la siguiente figura 13:

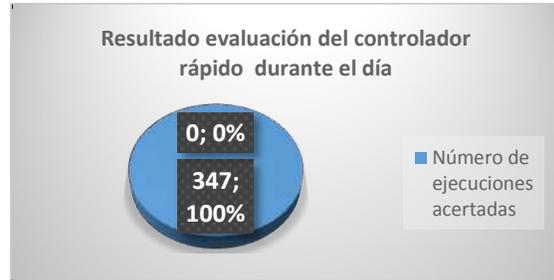


Figura 14. Resultado de evaluación del controlador rápido durante el día

Periodo en el Tarde:

Tomado en consideración el periodo del día también se procedió a obtener las muestras necesarias para poder interpretar los sucesos en este periodo con al ayuda de la tabla 4, llegando a tenerla siguiente información:

Periodo de análisis en la tarde	
Hora inicio prueba	14:00 PM
Hora final prueba	16:42:00 PM
Luxes inicio prueba	113243 lux
Luxes fin prueba	123442 lux
Duración Tiempo prueba luz roja	15 seg
Duración Tiempo prueba luz verde	15 seg
Duración Tiempo prueba luz tomate	5 seg
Duración de un periodo completo	35 seg
Número de muestras	277

Tabla 7. Condiciones de prueba para un controlador rápido durante la tarde.

Obtenido los siguientes resultados:

Evaluación ejecución controlador	
Número de ejecuciones acertadas	277
Número de ejecuciones fallidas	0

Tabla 8. Evaluación de la prueba de un controlador rápido durante la tarde

En forma de porcentajes se tiene:



Figura 15. Resultado de evaluación del controlador rápido durante la tarde

Periodo en el Noche:

En relación con los anteriores periodos evaluados también en este se procede a tomar una muestra aleatoria simple, del total de interacciones del color rojo del semáforo en la noche, en función de la tabla 4, obteniendo la siguiente información

Periodo de análisis en la noche	
Hora inicio prueba	20:00 PM
Hora final prueba	23:49:00 PM
Luxes inicio prueba	210 lux
Luxes fin prueba	198 lux
Duración Tiempo prueba luz roja	15 seg
Duración Tiempo prueba luz verde	15 seg
Duración Tiempo prueba luz tomate	5 seg
Duración de un periodo completo	35 seg

Número de muestras	392
--------------------	-----

Tabla 9. Condiciones de prueba para un controlador rápido durante la noche

Cuyos resultados obtenidos en el experimento son:

Evaluación ejecución controlador	
Número de ejecuciones acertadas	390
Número de ejecuciones fallidas	2

Tabla 10. Evaluación de la prueba de un controlador rápido durante la noche

Observando en porcentajes se tiene:



Figura 16. Resultado de evaluación del controlador rápido durante la noche

IV. CONCLUSIONES

- La visión artificial se puede utilizar como un referente de ejecución a un sistema de control basado en un sistema de respuesta rápido, tomando en cuenta que la acción de procesamiento de visión artificial sea la correcta.
- Tanto el procesamiento de imagen como el sistema de control son sistemas ligados que no se les puede tratar por separado, la acción misma de una identificación incorrecta conlleva a una excitación de la planta errónea que desencadena en fallos de captura de video en este caso de un carro infractor de semáforos.
- Mediante la identificación ARX (análisis de regresión exógena) se puede observar que el servo motor pese a que es un sistema regulado mas no controlado posee un comportamiento no lineal semejante al control de gradiente y un

comportamiento lineal equivalente a un sistema de primer orden de tipo cero.

- Un sistema de control dedicado a moverse constantemente conlleva un desgaste eminente por sus partes mecánicas, el comportamiento como tal de las variables de control calculadas no fueron las adecuadas razón por la cual, en todo proceso regulado a controlar se deberá realizar una sintonía fina, los valores de las constantes encontradas son $K_p = 1$ (ganancia proporcional), $K_i = 0$ (ganancia integral), $N = 1000000000$ (cantidad de muestras discretas ponderadas). Para un controlador lento $K_p = 0.1$ (ganancia proporcional), $K_i = 0.3$ (ganancia integral), $N = 1.25$ (cantidad de muestras discretas ponderadas).

- En un sistema de captación de imágenes implementado real con exposiciones a perturbaciones y vibraciones no sirve de nada solo procesar la imagen sin antes haber realizado un sistema de filtrado anterior y posterior al proceso de captura y descomposición de la imagen, el mejor filtro que se acoplo a los cambios de luxes brusco fue un filtro de media aritmética en dos instancias esto ayudo a corregir ciertas lecturas deficientes que genero la cámara web con la que se trabajó y los cambios de niveles de luz.

- El sistema en funcionamiento y con toma de datos presenta lecturas inconsistentes en un promedio de 1% del número de lecturas que como muestra se obtuvo un total de 392, es decir apenas de las 392 veces tuvo una inconsistencia de lectura 2 veces. El comportamiento del controlador está unido al proceso de visión artificial, razón por la cual se debe esta inconsistencia de lectura del accionamiento del controlador.

- Este trabajo de investigación ayudo a demostrar que si se puede utilizar la visión artificial para el proceso de posicionamiento de un servo mecanismo de una cámara web capaz de reaccionar a la activación de la luz roja del

semáforo para identificar un vehículo infractor con la utilización de una sola cámara de visión y procesamiento de imágenes por computadora.

V. REFERENCIAS

Publicaciones periódicas:

- [1] Núñez Zavala, C. X. (2017). Desarrollo de un sistema de control para el posicionamiento del servomecanismo de una cámara de identificación de vehículos infractores por semáforo mediante reconocimiento de imágenes utilizando visión artificial (Master's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). pp. 62- 151
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7223/1/20T00872.pdf>
- [2] DE LA ESCALERA, A., & ARMINGOL, J. M. (2001). *Visión por computador Fundamentos y métodos*, 1ª. ed, Madrid – España, Pearson Educación. pp. 514 - 556
<http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v14n1/v14n1a10.pdf>
- [3] Santana, J. E. G., Trespalacios, J. M. P., Uribe, J. D. J. R., & Bravo, E. F. C. *Sistema Neuronal de Bajo Costo para la Identificación de Colores*
- [4] Rengifo, C. F. (2004). Una Herramienta para Identificación Recursiva de Sistemas Dinámicos.
- [5] Kunusch, C. (2003). IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DINÉMICOS.
- [6] Puig, V., Quevedo, J., Escobet, T., Morcego, B., & Ocampo, C. (2004). *Control tolerante a fallos (parte i): Fundamentos y diagnóstico de fallos*. Revista Iberoamericana de automática e informática industrial, 1(1), 15-31.
- [7] Van den Hof, P., Bombois, X., & Course, L. N. D. (2004). *System identification for control*. Delft Center for Systems and Control, TU-Delft. Lecture notes, Dutch Institute for Systems and Control (DISC).

- [8] Salamea Palacios, C. (2007). *El procesamiento de imágenes: una herramienta de desarrollo*. Ingenius, (1). <http://dx.doi.org/10.17163/ings.n1.2007.03>
- [9] ELIZONDO, J. E., & MAESTRE, L. P. (2002). Fundamentos de procesamiento de imágenes. Documentación Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Tijuana. [PDF EN LINEA] [20 noviembre del 2016] http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/39190415/FundamentosDeProcesamientoDeImagenes.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1496167760&Signature=4Lw3Gezfkua5xb0WgcTFn7FHqZY%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFundamentos_de_procesamiento_de_imagenes.pdf

Libros:

- [10] Ogata, K. (1996). *Sistemas de control en tiempo discreto* (1st ed.). México [etc.]: Prentice Hall Hispanoamericana.
- [11] Kuo, B. (2007). *Digital control systems* (1st ed.). New York: Oxford University Press
- [12] Isermann, R. (1989). *Digital Control Systems* (1st ed.). Berlin: Springer Berlin.
- [13] Dorf, R., Bishop, R., & Dormido Bencomo, S. (2008). *Sistemas de control moderno* (1st ed., pp. 38-43). Madrid: Pearson Educacion..
- [14] Martinsanz, G. P., & de la Cruz García, J. M. (2001). *Visión por computador: imágenes digitales y aplicaciones*. Ra-ma.

Simulación del comportamiento estructural de un asiento de autobús para pruebas dinámicas.

Edwin Pozo, Miguel Aquino, Miguel Escobar, Marco Ordoñez, Luis Choto

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.

edwin.pozo@esPOCH.edu.ec, s_aquino4770@hotmail.com, maescobar@esPOCH.edu.ec, marcoantonio87@hotmail.com, santiagochoto@gmail.com.

Resumen

El desarrollo de la mecánica computacional en el medio industrial genera ventajas en la construcción de prototipos y componentes de carrocerías como son los asientos, los asientos son elementos de seguridad pasiva construidos con elementos estructurales de acero y recubiertos con esponja de poliuretano que proporciona confort, se debe tener mucha atención en su diseño debido a la reacción que estos presentan durante un accidente de tránsito, la simulación se basa en la utilización de los métodos de elementos finitos a través del software Ansys y la aplicación de normas y reglamentos internacionales como N° 80, 94 y 95 de la CEPE/ONU donde describen los tipos de ensayos, las características de los mismos y la validación de resultados, durante la simulación se analiza el comportamiento de los anclajes de los asientos ante un impacto frontal y lateral a diferentes velocidades analizando los esfuerzos máximos producidos, las deformaciones existentes y la cantidad de energía absorbida durante la simulación.

Palabras Claves

Asiento de autobús, Carrocerías, Deformación, Esfuerzos admisibles, Ingeniería asistida por computador (CAE), Mecánica computacional.

Abstract

The development of computational mechanics in the industrial environment generates advantages in the construction of prototypes and components of bodies such as the seats, the seats are passive safety elements constructed with steel structural elements and coated with polyurethane sponge that provides comfort, the simulation is based on the use of finite element methods through Ansys software and the application of international norms and regulations as ECE / UN No. 80, 94 and 95, which describe the types of tests, the characteristics of the and the validation of results, during the simulation the behavior of the seat anchors before frontal and lateral impact at different speeds is analyzed by analyzing the maximum stresses produced, the existing deformations and the amount of energy absorbed during the simulation.

Index Terms

Bus seat, Bodywork, Deformation, Allowable stresses, Computer Assisted Engineering (CAE), Computational Mechanics.

I. INTRODUCCIÓN

LA construcción de carrocerías en el país se rige por normas y reglamentos técnicos que son emitidas por el servicio ecuatoriano de normalización INEN y verificadas por organismos de control como la agencia nacional de tránsito ANT en el proceso de homologación vehicular.

El reglamento RTE 034 describe los elementos mínimos de seguridad que deben poseer los vehículos automotores y dentro de las condiciones ergonómicas están los asientos y sus anclajes. Los vehículos no contemplados en el reglamento técnico de la ONU anterior deben cumplir con lo establecido en la Reglamentación Técnica No.80 de la ONU "UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE

APPROVAL OF SEATS OF LARGE PASSENGER VEHICLES AND OF THESE VEHICLES WITH REGARD TO THE STRENGTH OF THE SEATS AND THEIR ANCHORAGES". Prescripciones uniformes relativas a la aprobación de asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros y de estos vehículos por lo que respecta a la resistencia de los asientos y de sus anclajes vigente en su última versión para el cual fue homologado el modelo en el ó los laboratorios(s) acreditado(s) para certificar el reglamento técnico ONU mencionado. Este requisito afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

Es un método de elementos finitos es un cálculo que se utiliza en diversos problemas de ingeniería, que se encarga de dividir el cuerpo o estructura en elementos discretos, que establecen condiciones de vínculo, esto genera sistemas de ecuaciones que se resuelve de forma numérica y q definen el estado de tensiones y deformaciones. Otra forma de utilizarlo en matemáticas es como un método nodal que se aproxima a ecuaciones diferenciales que se resuelven de forma numérica. Es un proceso numérico que se aplica en problemas con condiciones de borde en las estructuras, restricciones y cargas externas, varios de los problemas que no tienen solución analítica o a su vez es muy difícil obtener la solución por lo que la única alternativa de resolver es con este método y se pueden resolver sistemas que no son fáciles para resolver con modelos matemáticos simples (PEZZOTTI, 2008).

Se describen los diferentes pasos y etapas que se deben tener en cuenta para analizar cualquier sistema físico por medio del método de elemento finito MEF.

Preproceso (Preparación del problema)

Donde se prepara el modelo para el cálculo se realizan las siguientes operaciones:

- Definir el dominio geométrico del problema.
- Definir el tipo de elemento que será utilizado en la discretización.
- Definir las propiedades de los materiales de cada elemento.
- Definir las propiedades geométricas de cada uno de los elementos (longitud, área, etc.).
- Definir las conectividades de los elementos (malla del modelo).
- Definir las restricciones físicas del problema (condiciones de contorno).

- Definir las cargas aplicadas sobre el dominio.

Proceso (Solución del problema)

Es la parte del programa que realiza todo el cálculo del MEF y genera las soluciones. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Cálculo de las matrices de rigidez y vectores de carga de cada elemento.
- Ensamblaje de las matrices de rigidez y de los vectores de carga elementales.
- Obtención del sistema global de ecuaciones.
- Reducción del sistema de ecuaciones mediante la aplicación de las condiciones de contorno.
- Resolución del sistema de ecuaciones asociado al problema. Obtención de los valores nodales de las variables de campo que representan el problema.
- Cálculo de variables derivadas como fuerzas de reacción, tensiones en los elementos, flujos de calor, etc.

Postproceso (Análisis y evaluación de los resultados)

Es la herramienta que permite la representación gráfica de los resultados, así como los resultados indirectos que se pueden obtener operando las soluciones del modelo. (VALERO, 2004).

- Representación gráfica de los resultados (clasificación en colores dependiendo la magnitud de las variables, curvas de resultados, etc.).
- Verificación de la condición de equilibrio.
- Representación del dominio deformado (en caso de que se trate de un problema estructural)
- Finalmente, los resultados obtenidos por el MEF deben ser vistos desde una posición crítica apoyada en el buen juicio del analista o del ingeniero.

Como solución a la falta de laboratorios acreditados para la homologación de asientos se establece una metodología con base en la simulación computacional que determine el comportamiento estructural de los asientos durante evaluaciones estáticas, dinámicas y contribuir a mejorar la seguridad activa y pasiva de los ocupantes de las unidades de traspotación de personas.

A. Preguntas de investigación

¿Cómo debe ser el proceso de simulación dinámica para

asientos de autobuses?

¿Qué principios y leyes deben ser aplicados en la simulación estructural de los asientos?

¿Para qué tipos de asientos se propone la simulación?

B. Objetivo general

Simular del comportamiento estructural de un asiento de autobús para pruebas dinámicas.

C. Objetivos específicos

Estudiar normas, reglamentos nacionales e internacionales que describan los procedimientos para los ensayos dinámicos.

Analizar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de un asiento de autobús, con la finalidad de asignar parámetros para simulación de estructural.

Aplicar leyes y principios para generar el modelo de simulación y obtener resultados de esfuerzos y deformación.

- Altura desde el piso a la base del asiento entre 400 mm y 500 mm;
- Distancia entre asientos medidas a una altura de 620 mm desde el piso con los asientos en posición normal, debe ser para bus interprovincial e intrarregional mínimo de 720 mm y para bus intraprovincial mínimo de 680 mm.
- Posiciones de reclinación mínima: dos, con un ángulo mínimo de 12° y 30° ± 2° para intraprovincial, y 12° y 40° ± 2° para interprovincial e intrarregional;
- Altura total del respaldo del asiento incluido el apoyacabezas: mínima 700 mm. (INEN 1668).

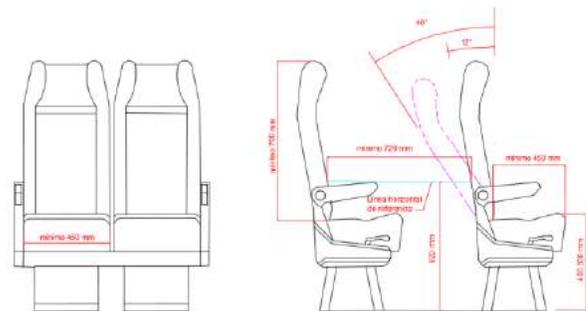


Fig. 1. Asientos de los pasajeros para bus interprovincial.

II. DESARROLLO

En la norma INEN 1668 “VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS” se establece que los asientos para pasajeros deben ser fijos a la carrocería y estar dispuestos según el eje longitudinal del vehículo en el sentido de marcha o viceversa, de tal forma que se proporcione la mayor seguridad y confort a los pasajeros, respetando los diseños de los fabricantes del vehículo o chasis para la distribución de las cargas a los ejes del vehículo. (INEN 1668).

Además, en la norma se establece que los vehículos poseerán dos hileras de hasta dos asientos individuales, la última fila dispondrá de máximo 5 asientos, de las siguientes dimensiones como se muestra en la Fig. 1:

- Profundidad mínima: 420 mm para buses intraprovinciales y 450 mm para buses intrarregionales e interprovinciales;
- Ancho libre mínimo del asiento: 400 mm para intraprovincial y 450 mm para intrarregional e interprovincial;

Resistencia de asientos y sus anclajes. Directiva 74/408-2005/39/CE o Reglamento 80R01. Requisitos para garantizar que los asientos y su fijación al vehículo presentan una adecuada retención del pasajero que va en él y el que va detrás ante impactos frontales, sin que los criterios de lesión superen unos límites. El fabricante puede escoger entre ensayo dinámico o ensayo estático “equivalente”. Las mediciones tienen por objeto garantizar la ausencia de lesiones así como la resistencia del asiento y sus anclajes, aunque existe la opción de ensayar por separado el asiento (sobre módulo rígido) y el anclaje (con asiento rígido). (VICENTE CORRAL, 2010).



Fig. 2. Ensayos dinámicos sobre asientos y anclajes.

Impacto frontal. Este impacto está destinado a representar el tipo más frecuente de accidente, produciendo lesiones graves o mortales. Simula un vehículo que tiene un impacto frontal con otro vehículo de masa similar. Como la mayoría de los impactos frontales, solo se produce en una parte del frente del vehículo. Por

esta razón, solo se producirá el impacto en un 40 por ciento del ancho del vehículo. La barrera utilizada en el impacto es deformable para representar la naturaleza deformable de los vehículos. Se trata de una prueba severa, donde se observa la capacidad del vehículo para soportar el impacto sin invadir la zona del habitáculo. (BECERRIL NIETO, 2010).

Velocidad de ensayo. La velocidad del vehículo en el momento del impacto será de 56 ± 1 km/h. Sin embargo, si el ensayo se efectúa a mayor velocidad de impacto y el vehículo cumple los requisitos, el ensayo se considerará satisfactorio. (REGLAMENTO 94).

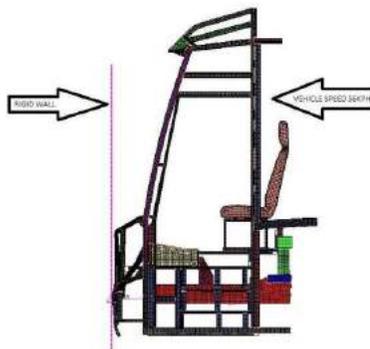


Fig. 3. Ensayo de impacto frontal de acuerdo al Reglamento 94 CEPE/ONU.

Impacto lateral. El impacto lateral es la segunda configuración más importante. EuroNCAP simula este tipo de accidente mediante una barrera deformable móvil que impacta en la puerta del conductor a 50 km/h. La protección de la lesión es evaluada por el dummy y el asiento del conductor. Aunque es difícil la protección lateral, se han producido mejoras considerables. Los airbags laterales han ayudado a incrementar el rendimiento de la seguridad lateral. (BECERRIL NIETO, 2010).

Velocidad de ensayo. La velocidad de la barrera deformable móvil en el momento del impacto debe ser de 50 ± 1 km/h. Dicha velocidad debe estabilizarse al menos 0,5 m antes de la colisión. Exactitud de las mediciones: 1 %. Sin embargo, si el ensayo se efectúa a mayor velocidad de impacto y el vehículo cumple los requisitos, el ensayo se considerará satisfactorio. (REGLAMENTO 95).

III. METODOLOGÍA

Se establece el desarrollo de las etapas de la simulación, preproceso, proceso y postproceso.

A. Preproceso

La modelación de las estructuras se digitaliza con SolidWorks, software potente para diseño con una interfaz intuitiva para el usuario, agilizando el proceso de diseño. Como se muestra en la fig. 4 se ha generado el modelo tridimensional del asiento y sus anclajes de manera precisa para la ejecución de nuestro estudio, utilizando simplemente superficies en su estructura total, pues este tipo de elementos son recomendados para análisis dinámicos con formulación explícita.

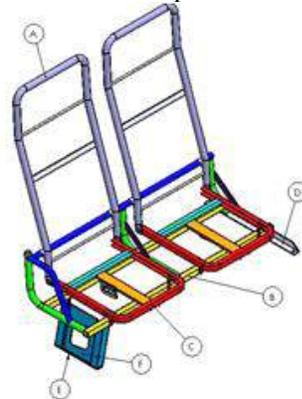


Fig. 4. Digitalización del asiento con sus elementos.

El asiento está constituido por distintos elementos como se especifica en la Figura 4, espaldar (A), base (B), cojín (C), anclaje ángulo (D), anclaje de pata (E), pata de asiento (F). Todos los perfiles estructurales que se utilizan en su fabricación se detallan a continuación en la Tabla I.

TABLA I
MATERIALES UTILIZADOS EN LA ESTRUCTURA DEL ASIENTO

COD	IDENTIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL
A	Espaldar	Perfil redondo de 24,4 x 1,50 mm	Acero negro ASTM A 500gr A
B	Base	Perfil cuadrado de 25x25 x2 mm	Acero negro ASTM A 500gr
C	Cojín	Perfil en C 25x20x2 mm	Acero negro galvanizado JIS G 3141 SPCC-SD
D	Anclaje ángulo	Perfil en L 30x30x3 mm	Acero negro ASTM A-36
E	Anclaje de pata	Platina de 36x4 mm	Acero negro ASTM A-36
F	Pata de asiento		Acero galvanizado G60 ASTM A653 CS/FS 3302

Una vez que se realiza la geometría se guarda el archivo en formato parasolid archivos de tipo x_t para verificar preparar y corregir algunos errores que suelen

darse cuando se modela en el software CAD, todo este trabajo se lo realiza en ANSYS, el mismo procedimiento se lo realiza para los dos casos de impacto como se puede observar en la fig. 5. Es importante mencionar que para que este estudio sea más próximo a la realidad se utiliza un dummy que producirá los efectos físicos que suceden en el cuerpo humano producto de accidentes, además está usando el cinturón de seguridad de tres puntos para el impacto frontal y de dos puntos en el caso del lateral condiciones que establecen las normativas nacionales.

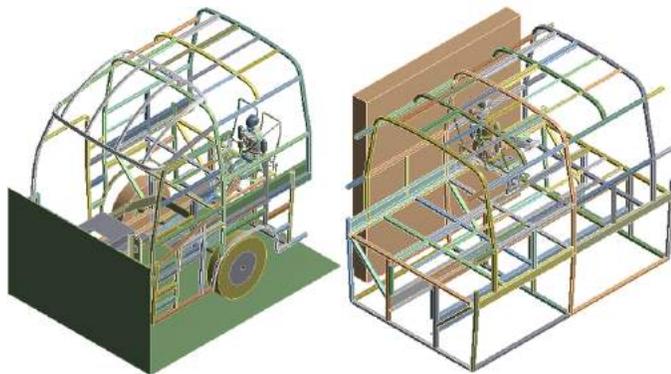


Fig. 5. Preparación de sección para impacto frontal y lateral.

Las empresas fabricantes de carrocerías en el Ecuador utilizan materiales de acuerdo a la norma INEN 2415:2013, donde se establecen algunos tipos de materiales, así como también sus propiedades mecánicas entre ellos se tiene al acero estructural cuyas propiedades mecánicas están en la Tabla II.

TABLA II
PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO ASTM A36.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Densidad	7850	Kg/m3
Módulo de elasticidad	200	GPa
Límite de fluencia	250-280	MPa
Resistencia a la tensión	400-550	MPa
Módulo de corte	79.3	GPa
Resistencia a la compresión	152	MPa

Generación de la malla impacto frontal y lateral.

Cuando se trabaja en ANSYS se tienen tres tipos de elementos: Sólidos (tridimensionales 3D), shells (bidimensionales 2D), y beams (unidimensionales 1D),

Con el objetivo de ahorrar recursos computacionales se trabaja con elementos tipo Shell, también conocidos como láminas, estos permiten: ahorrar recursos computacionales, y por tanto el tiempo de respuesta a la solución de un problema es relativamente corto todo depende del equipo computacional en el que se realice el análisis.

Como se observa en la fig. 6 la mayor parte de los elementos presenta una calidad de malla muy buena muy próxima a 0 lo que garantiza los resultados que se obtendrán al aplicarle diferentes condiciones a la geometría, y 1 para una pésima calidad de malla.

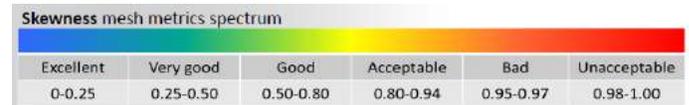


Fig. 6. Criterios de aceptabilidad de calidad de malla skewness.

El skewness máximo es de 0,93978 para el ensayo de impacto frontal Fig. 7 que, de acuerdo al criterio de evaluación, es aceptable por lo que se tiene una buena calidad de malla, esto se consigue refinando la malla en algunos elementos como el maniquí, asiento, pared rígida y la estructura de la cabina. Se recomienda mallar por separado los elementos para verificar cualquier interferencia entre cuerpos.

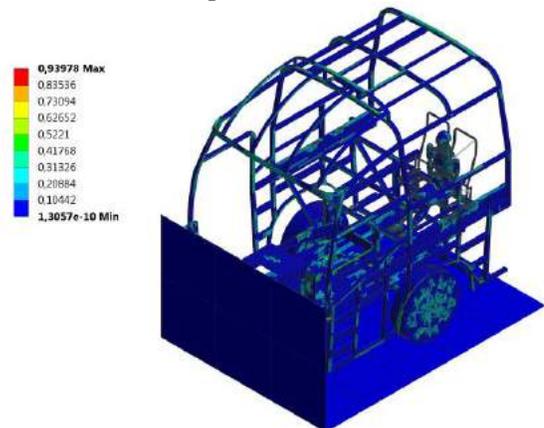


Fig. 7. Gráfico calidad de malla para impacto frontal. Del mismo modo el skewness máximo es de 0,85876 que de acuerdo al criterio de evaluación de la Fig. 8, es aceptable, a diferencia del anterior este se reduce significativamente este fenómeno se da principalmente por el tipo de geometría y de igual forma se trabajó en la malla refinando los elementos mencionados en el impacto frontal.

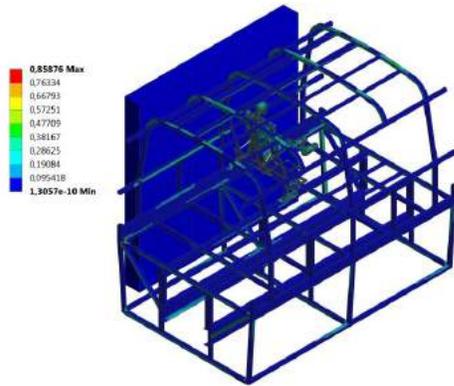


Fig. 8. Gráfico calidad de malla para impacto lateral.

Condiciones de borde para impacto frontal. De acuerdo a la normativa utilizada para este ensayo la velocidad de vehículo es de 56 km/h (15, 56 m/s), por lo que se asigna dicha velocidad al conjunto completo cabina fig. 9, asiento y maniquí direccionándola sobre el eje Z para que estos se impacte contra una pared rígida.

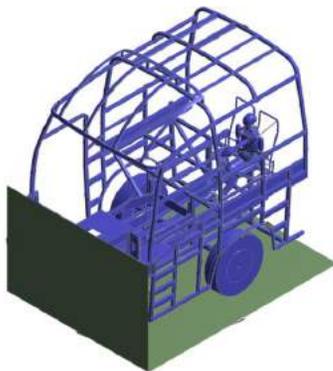


Fig. 9. Asignación de la velocidad para ensayo impacto frontal.

Se configura una condición de soporte fijo a la pared rígida, se asigna la gravedad a todo el conjunto fuerza presente por el fenómeno de atracción de los cuerpos hacia el centro de la tierra, una condición importante es el comportamiento del maniquí que tiene una configuración de deformable a rígido este solo va a transmitir fuerza debido a que en este estudio no se analiza el comportamiento del mismo, la masa del maniquí es de 75 kg que es el peso aproximado de una persona adulta esto está establecido en la normativa ecuatoriana vigente como muestra la Fig. 10.

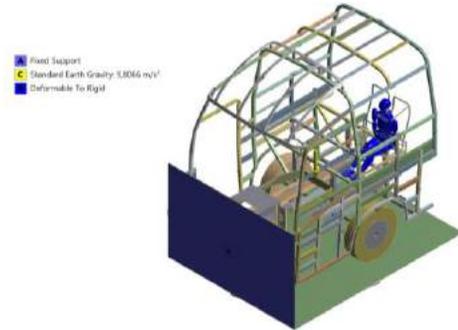


Fig. 10. Condiciones de borde para ensayo impacto frontal.

Condiciones de borde para impacto lateral. La normativa vigente para este tipo de ensayo establece una condición de velocidad de 50 km/h (13,89 m/s) la velocidad se le asigna a la barrera deformable móvil direccionándola a lo largo del eje X, para que impacte contra la sección de carrocería como se muestra en la Fig. 11.

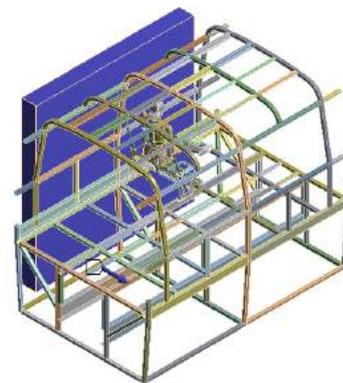


Fig. 11. Condiciones de borde para ensayo impacto lateral.

Para simular la condición sobre la carrocería se asigna una configuración de soporte fijo a los miembros estructurales del chasis, de misma manera que para el impacto frontal se asigna la condición de deformable a rígido para el maniquí y la barrera deformable móvil para que solamente transmitan fuerza y finalmente la condición de la fuerza de gravedad.

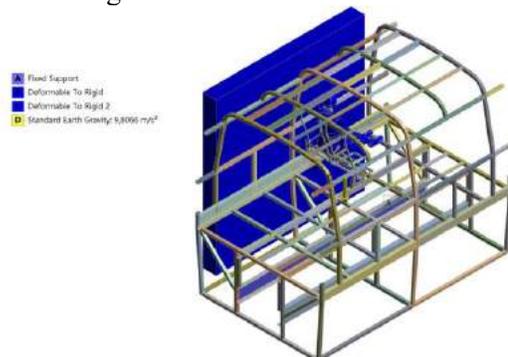


Fig. 12. Condiciones de borde para impacto lateral.

B. Proceso

En esta etapa el software realiza todo el cálculo a través de un conjunto de ecuaciones matemáticas expresadas en forma matricial y se genera las soluciones del problema propuesto. El procedimiento es el mismo para el impacto frontal y lateral como se indica en la Fig. 13.

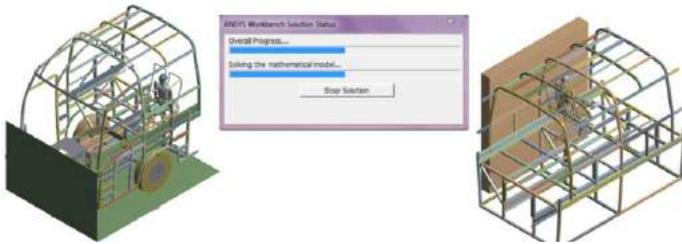


Fig. 13. Condiciones de borde para impacto lateral.

C. Postproceso

Resultados del impacto frontal de la estructura del asiento a 56 Km/h.

El tiempo empleado en la simulación es de 0,11 s (segundos) tiempo recomendado para impactos, la cantidad de elementos es de 97771 y nodos 97676. Se obtuvieron resultados cada 14 ms, lo que se puede observar en la Fig. 14, en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

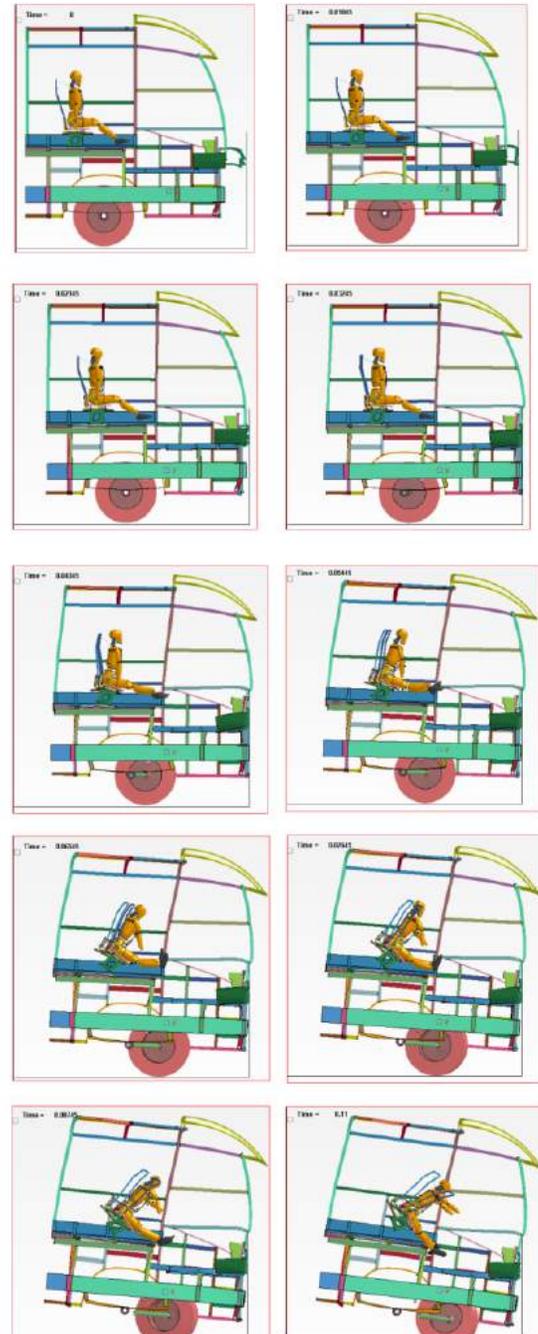


Fig. 14. Secuencia de simulación de impacto frontal a 56 km/h.

El impacto frontal realizado a 56 km/h, a continuación, se da muestra de las secciones más críticas en la distribución de esfuerzo de Von Mises en toda la sección de la carrocería en la Fig. 15.

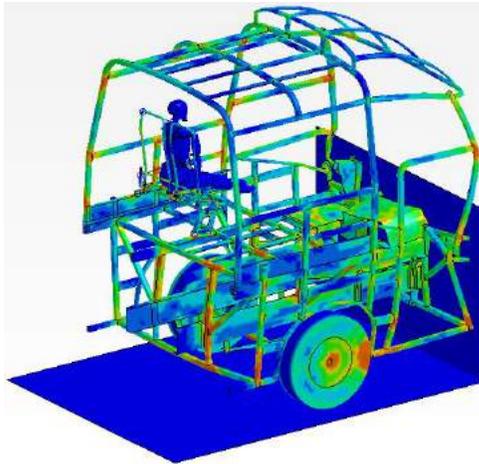


Fig. 15. Distribución de esfuerzos en la sección para impacto frontal.

Según los lineamientos de aceptación del reglamento N° 80 de la CEPE/ONU, existen desprendimientos total o parcia del anclaje, aristas vivas y con esfuerzo máximo de fluencia de 370 MPa en los anclajes, llegando a la ruptura del material como se muestra en la Fig. 16.

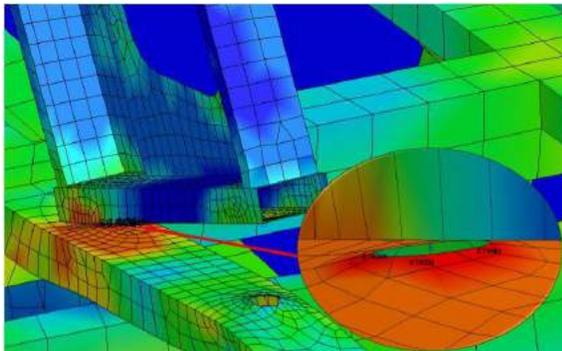


Fig. 16. Esfuerzo de Von Mises en el anclaje a 56 km/h.

Resultados de impacto lateral de la estructura del asiento a 50 Km/h

El tiempo empleado en la simulación es de 0,11 s tiempo suficiente para observar resultados este tipo de ensayos, la cantidad de elementos es de 93964 y nodos 94187. Se obtuvo resultados cada 14 ms, la secuencia se puede observar en la Fig. 17, en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

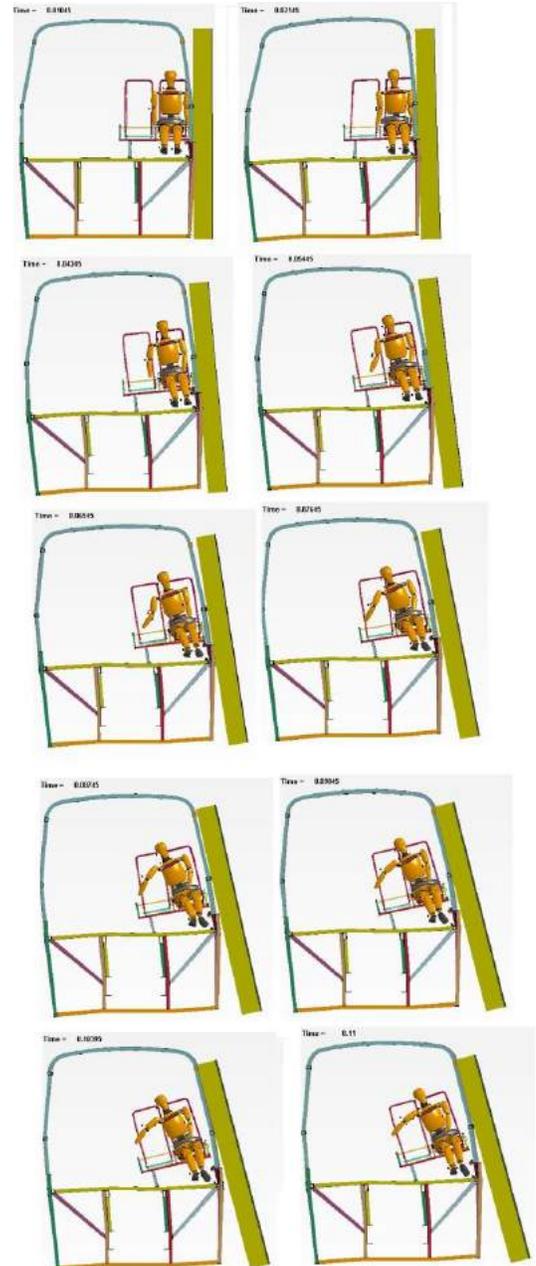


Fig. 17. Secuencia de simulación de impacto lateral a 56 km/h.

En la Fig. 18 se muestra la distribución de esfuerzos en la carrocería

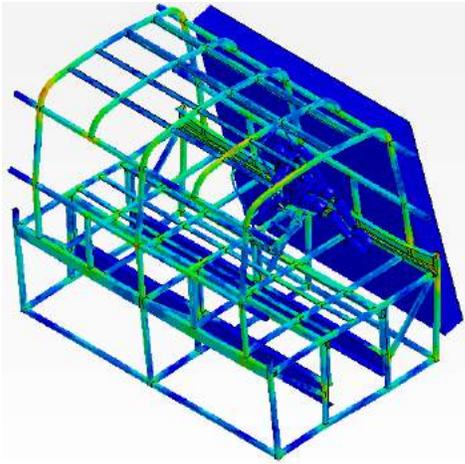


Fig. 18. Distribución de esfuerzos en la sección para impacto lateral.

El anclaje del asiento no soporta el impacto lateral como se presenta en la Fig. 19 los esfuerzos de Von Mises generados en las áreas de contactos de sujeción de los pernos llegan al límite de la fluencia del material a un tiempo de 66 ms, por tal motivo el anclaje se desprende totalmente del zócalo. Según el reglamento N° 80 CEPE-ONU no debe existir desprendimiento parcial o total del anclaje, por ello los anclajes no cumplen con la reglamentación.

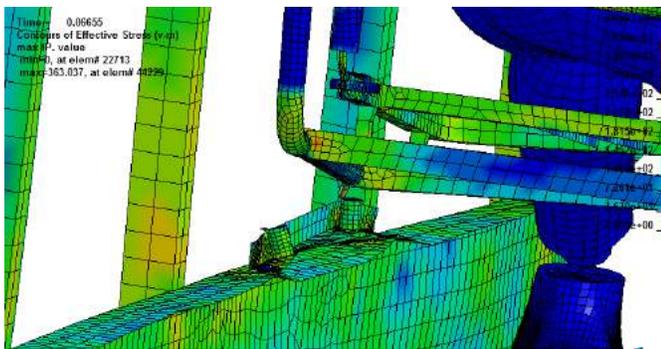


Fig. 19. Deformación de V-M en anclaje del zócalo en impacto lateral 50 km/h.

IV. CONCLUSIONES

Se estudió y se aplicó las normas, reglamentos nacionales como INEN 2415, INEN 1668, RTE 034, e internacionales como Reglamento 80R01, Reglamento N° 94 CEPE/ONU, Reglamento N° 95 CEPE/ONU que contribuyeron a determinar los parámetros necesarios para la simulación.

Se realizó la modelación de las geometrías a emplear en la simulación como son la sección de carrocería y el asiento con la utilización de un software paramétrico,

considerando las propiedades físicas y mecánicas que corresponde a un acero ASTM A36, se determinó además el tipo de elemento finito para llevar a la simulación en este contexto el modelado tipo Shell por tema de ahorro computacional.

Con la simulación dinámica que implica el impacto frontal y lateral de acuerdo reglamento N° 94 CEPE/ONU, y reglamento N° 95 CEPE/ONU respectivamente se demostró que la configuración geométrica no satisface la condición del reglamento ya que se evidencia el desprendimiento parcial de los anclajes que son parte de los asientos, que pueden provocar lesiones en los pasajeros.

Con las simulaciones realizadas para impacto frontal y lateral que implica las velocidades de 56 km/h y 50 Km/h respectivamente, se evidencio que existe incumplimiento de la reglamentación, y más aún cuando las regulaciones nacionales permiten circular a 90 km/h a los buses interprovinciales, suponiendo que los efectos de esfuerzos serán mayores de acuerdo a las simulaciones, se propone algunas soluciones para llevar al cumplimiento de la norma en los asientos como mejorar en la selección de materiales, el cambio de la configuración geométrica y la modificación de espesores de los elementos estructurales.

REFERENCIAS

Pezzotti, Santiago. (2008). *Introducción a la teoría de los elementos finitos*. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería.

Valero Frías, Eduardo. (2004) *Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos*. (Ingeniería) Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España.

Becerril Nieto, Daniel. (2010). *Estudio del impacto de un vehículo sobre señales de tráfico mediante LS-Dyna*. Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Mecánica.

Corral Vicente, Maria Teresa. (2010). *Nuevos requisitos y avances en seguridad pasiva en autobuses y autocares: situación actual y necesidades*. Instituto Universitario de Investigación del Automóvil, Universidad Politécnica de Madrid (INSIA-UPM). Madrid. España.

Reglamento 80, Cepe/Onu. *Prescripciones uniformes relativas a la homologación de asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de viajeros y de*

estos vehículos por lo que respecta a la resistencia de los asientos y de sus anclajes. Apéndice 1.

Reglamento 94, Cepe/Onu. *Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal.*
Parte 4: Velocidad de ensayo.

Reglamento 95, Cepe/Onu. *Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral.*
Anexo 4.

Software para el cálculo de las pérdidas de potencia por fricción en elementos de máquina de las transmisiones mecánicas: FRIX-2016

Software for the frictional power loss calculation in machine elements of mechanical transmissions: FRIX-2016

Marcelo N. Navarro Ojeda^{(1)*} Yeniel Fernández Vega² Marcell Navarro Santana² Rafael Pérez Pupo³
Julio N. Pérez Guerrero⁴

Resumen

La tribología es la ciencia que estudia los procesos de fricción, desgaste y lubricación. El software elaborado permite calcular, específicamente, las pérdidas energéticas debido a la fricción de los diferentes pares cinemáticos que conforman las uniones de rozamiento presentes en las disímiles máquinas y equipos de las muy variadas ramas industriales. Por solo mencionar algunos, ejemplos en su amplio campo de aplicación, basta citar la industria mecánica –transporte terrestre, naval y aéreo; construcción de maquinaria; producción de energía-, industria textil, industria de equipos espaciales; máquinas y equipos de la ingeniería civil –para la construcción de puentes, carreteras, edificios-; máquinas y equipos de la agricultura –amplísima gama de cosechadoras e implementos agrícolas para diferentes prestaciones-; etc. Para la elaboración de la metodología que sirvió como soporte del software se tomó como teoría fundamental los lineamientos establecidos por Reshetov y Rodríguez. El software es especialmente útil durante la etapa de diseño, rediseño o proceso de desarrollo de una máquina, equipo o implemento, en cualquiera de las ramas industriales antes citadas.

Palabras clave: tribología, máquinas agrícolas, fricción, desgaste, potencia.

Summary

Tribology is the science that studies the processes of friction, wear, and lubrication. The elaborated software allows calculating, specifically, the energy losses due to the friction of the different kinematic pairs that conform the friction unions, present in the dissimilar machines and equipment of the very varied industrial branches. Just to mention some examples in its wide field of application, it is enough to mention the mechanical industry - land, naval and air transport; construction of machinery; energy production-, textile industry, space equipment industry; civil engineering machines and equipment - for the construction of bridges, roads, buildings; agricultural machinery and equipment - a wide range of harvesters and agricultural implements for different services; etc. For the development of the methodology that served as software support, the guidelines established by Reshetov and Rodríguez were taken as a fundamental theory. The software is especially useful during the stage of design, redesign or development process of a machine, equipment or implements, in any of the aforementioned industrial branches.

Keywords: Tribology, agricultural machinery, friction, wear, power.

-
1. Ingeniero Mecánico. Doctor en Ciencias Técnicas (PhD). Especialista en Tribología. Escuela de Ingeniería en Industrias Pecuarias. FCP. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Email: elyandy3@gmail.com
 2. Ingeniero Mecánico. Proyecto investigación: “Desarrollo de máquinas cosechadoras caña de azúcar”. UHo. Cuba.
 3. Ingeniero Mecánico. Doctor en Ciencias Técnicas (PhD). Especialista en diseño mecánico. ESPOCH, Riobamba, Ecuador.
 4. Ingeniero Mecánico. Doctor en Ciencias Técnicas (PhD). Especialista en diseño mecánico. UTM, Portoviejo, Ecuador.
- * Autor de correspondencia: elyandy3@gmail.com

Numerosos trabajos se han publicado sobre los factores que afectan los pares cinemáticos debido a la fricción [14]: herramientas desarrolladas para su determinación, ya sean teóricas, como p.ej. las informáticas: software [3-6]. Sin embargo, en determinados casos, como el tratado en este trabajo, no se encontraron herramientas precisas para su determinación, los programas de cálculo existentes en su mayoría resultan costosos, o en su defecto no apropiados para su uso como herramienta didáctica y/o para ser usados por personal no especializado en tribología.

Fueron halladas dos metodologías muy interesantes que estructuran, de forma ordenada, los referidos cálculos; pero abordan estos en temas específicos, de forma más restringida, p. ej., en las transmisiones por cadena y por engranes, además de los cojinetes de rodamiento y de deslizamiento [14].

La ESPOCH se encuentra proyectando equipos agrícolas, para las condiciones de elevada pendiente, ya sean de mediana complejidad, como p.ej., los motocultores y una amplia diversidad de implementos y accesorios utilizados durante la preparación del terreno y posteriores labores, de la siembra, cultura y cosecha; donde, inexorablemente, esta maquinaria y sus aperos, en su proyección, demandarán, en su concepción (diseño) de herramientas de cálculo poderosas que permitan disminuir los efectos perjudiciales de la fricción en los sistemas de mayor interés.

En función de lo antes visto, el presente trabajo de investigación tuvo por objetivo desarrollar un Software para el cálculo de las pérdidas de potencia por fricción en los principales elementos de máquina de las transmisiones mecánicas; tal es el caso de las transmisiones por engranajes, flexibles por poleas y correas y/o las transmisiones por cadena.

En este contexto, el software *FRIX-2016* fue elaborado, especialmente, para llegar a conocer estas perjudiciales pérdidas en los pares de fricción de los elementos de máquinas, como los citados gráficamente en las Figuras 1, 2 y 3: aspecto de especial interés durante la proyección o desarrollo de una máquina o implemento agrícola. Aunque, no menos importantes son los cojinetes de deslizamiento y rodamiento (ver Figuras 4 y 5)



Figura 4. Cojinetes de Deslizamiento

Fuente:

https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWOWmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+cojinetes+de+delizamiento&*



Figura 5. Cojinetes de Rodamientos

Fuente:

https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWOWmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+cojinetes+de+rodamientos&*

MATERIALES Y MÉTODOS

Fue elaborada una metodología de cálculo, utilizando una amplia bibliografía y el concurso de valiosas consultas a expertos en esta temática [7-14-15-25]. Resultaron de especial interés los trabajos desarrollados por Rodríguez [15], en la Universidad de Oriente, Cuba, donde presenta una valiosa metodología de cálculo, en sus trabajos: "Diseño tribológico de las transmisiones mecánicas".

Posteriormente, y a tenor con los pasos de la metodología implementada, se concibió el citado software; el cual posibilita, de una forma muy rápida, el cálculo de las pérdidas de potencia por fricción en los diferentes sistemas tribológicos que componen cualquier máquina o equipo en la rama de la industria mecánica. [21-22-23-24].

A continuación, se detallan los aspectos más relevantes en la ejecución del presente trabajo: (I) elaboración de la metodología y el software, (II) elaboración del Software *FRIX-2016*, (III) algunos detalles acerca del manual de usuario del software y (IV) un ejemplo de aplicación [8-14].

RESULTADOS DEL TRABAJO

Elaboración de la metodología y el software

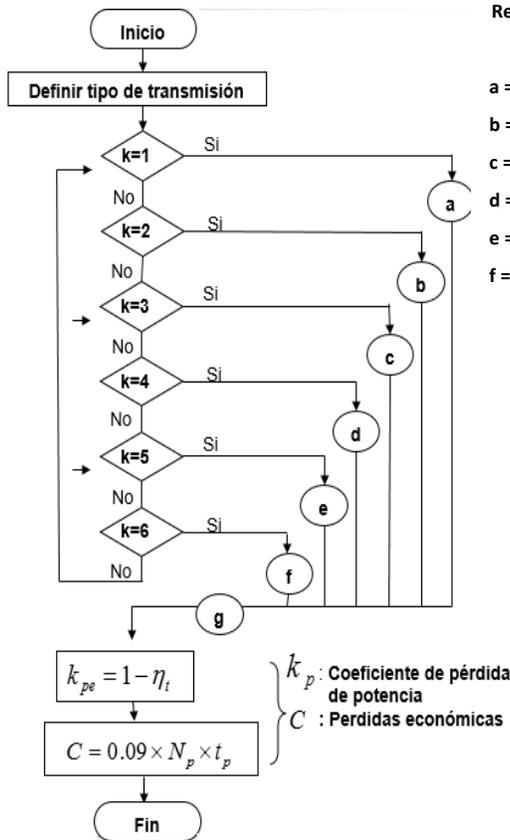
La metodología concebida para el cálculo de las pérdidas de potencia por fricción y su implementación en un programa informático se puede resumir en los siguientes pasos:

- Determinación de los diferentes tipos de sistemas tribológicos concebidos en la metodología: transmisiones por: fricción, dentadas, cadena y sprocket, correa y polea, y los cojinetes.
- Determinación de los modelos matemáticos (fórmulas) para el cálculo de las pérdidas de potencia en cada tipo de sistema tribológico.
- Cálculo de la eficiencia de la transmisión elegida
- Cálculo del coeficiente de pérdida de potencia
- Breve cálculo de las pérdidas económicas, por concepto de la fricción, para cada caso.

Algoritmo de cálculo

A continuación se presenta el algoritmo de cálculo que permite hallar las pérdidas de potencia por fricción, para las

diferentes transmisiones mecánicas: por fricción, dentadas, cadena y sprocket, correa y polea, y los cojinetes. Se particulariza, además, con el tipo de transmisión por cadena.



Representa al Menú Principal del programa

- a = Transmisión por engranes
- b = Transmisión por fricción
- c = Transmisión por correa
- d = Transmisión por cadena
- e = Cojinetes de contacto rodante
- f = Cojinetes de contacto plano

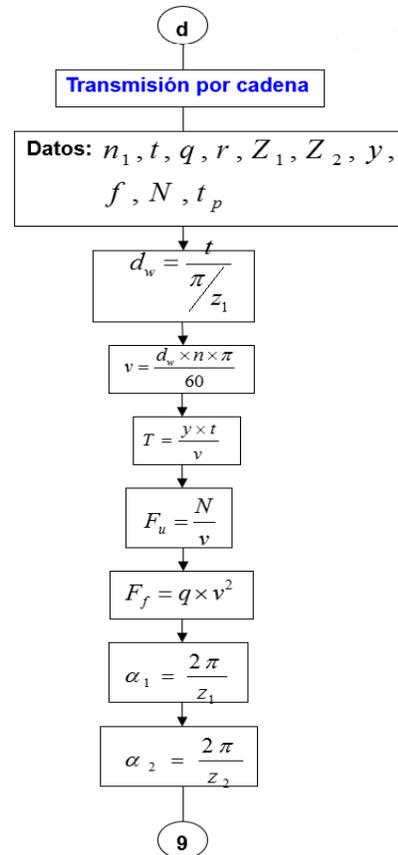


Figura 7. Entrada de datos para el cálculo de la eficiencia energética de la transmisión por cadena.

La parte que se describe a continuación (Figura 8), ilustra el cálculo de la pérdida de potencia debido al trabajo resistivo realizado en los pares de fricción: eslabones estrella-conductora y eslabones-estrella-conducida, y el cálculo de las pérdidas de potencia debidas a la fricción interna del lubricante.

donde:

- W_{PEnt1} = Trabajo de rozamiento al entrar los eslabones en la estrella conductora (kJ)
- r = Radio del pasador de los eslabones
- f = Coeficiente de fricción.
- W_{PEst1} = Trabajo de rozamiento al salir los eslabones de la estrella conductora (kJ)
- W_{PEnt2} = Trabajo de rozamiento al entrar los eslabones en la estrella conducida (kJ)
- W_{PEst2} = Trabajo de rozamiento al salir los eslabones de la estrella conducida (kJ)
- $\sum W_{Ent}$ = Trabajo de rozamiento de una articulación (kJ)
- = Trabajo de rozamiento total en las articulaciones (kJ)
- W_{Roz} = Pérdida de potencia en las articulaciones
- N_{PArt} = Pérdida de potencia en las articulaciones
- N_{PAc} = Pérdidas de potencia debido al lubricante

Figura 6. Vista general del algoritmo para la determinación de la eficiencia energética del sistema.

A continuación se detalla el desarrollo para el caso particular de la transmisión por cadena; donde, entran los siguientes datos, a través de la sección del algoritmo, representada en la Figura 7:

- donde:
- d_w = Diámetro primitivo (m)
 - t = Paso (mm)
 - v = Velocidad de la cadena (m/s)
 - T = Tiempo de carrera (s)
 - y = Cantidad de eslabones
 - F_u = Fuerza útil que se aplica a la transmisión (kN)
 - F_f = Fuerza centrífuga tensora (kN)
 - q = Peso/metro de longitud (kg/m)
 - α_1 = Ángulo de giro de los eslabones al entrar en la estrella conductora
 - α_2 = Ángulo de giro al salir de la estrella conducida

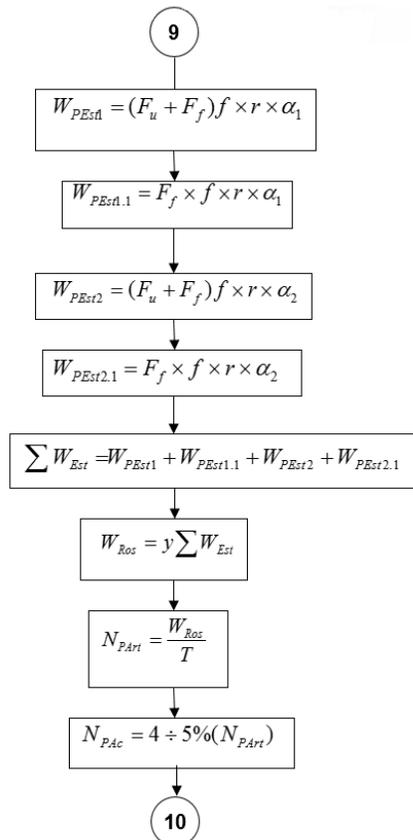


Figura 8. Cálculo de la potencia en los pares: rueda dentada-eslabones de la cadena.

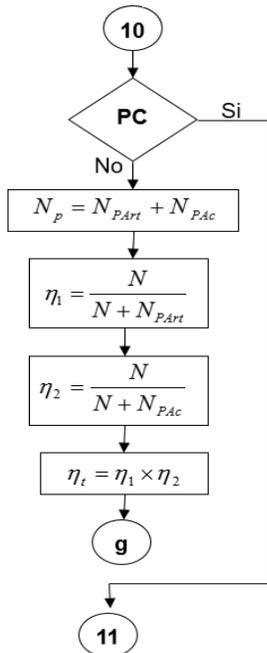


Figura 9. Algoritmo para el cálculo parcial de la eficiencia del sistema [14].

A continuación se procede al cálculo de la eficiencia, según las pérdidas anteriores (ver Figura 9).

N_p = Pérdidas de potencia
 η = Eficiencia

En la Figura 10 (parte semifinial del algoritmo de cálculo) se determinan las pérdidas en los cojinetes y la eficiencia total del sistema. Una vez calculada la eficiencia total del sistema, el programa retorna a “g” (sección final del algoritmo. Ver figura 6), para la detrmnación del Coefierciente de pérdida de potencia (kp) y las pérdidas económicas (C).

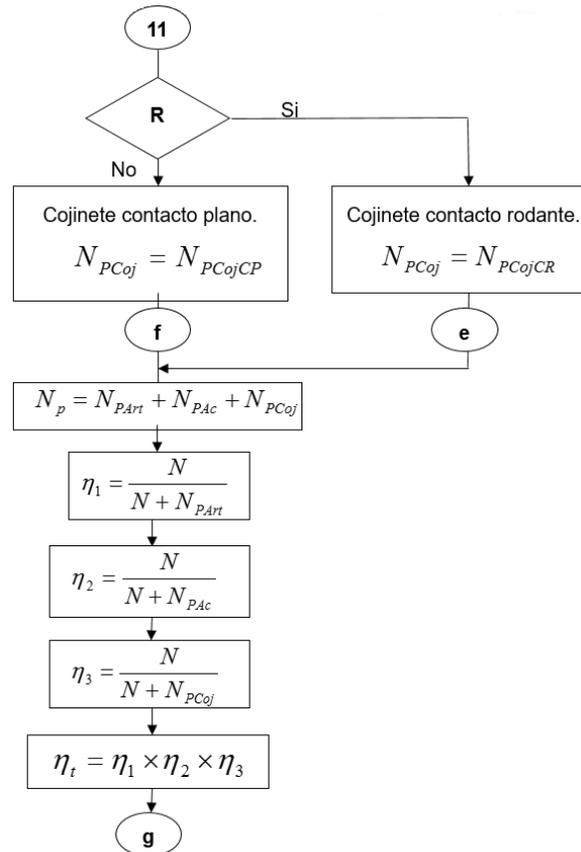


Figura 10. Cálculo de la eficiencia total del sistema. Final del algoritmo.

Elaboración del Software FRIX-2016

A continuación aparece una descripción de los principales elementos informáticos que propiciaron la obtención del Software FRIX-2016.

Las herramientas informáticas utilizadas fueron el *Visual Studio 2008* y el lenguaje de programación *C Sharp* [14-21]. A continuación se ofrecen algunas de las características fundamentales de ambos programas; que, aunque ya tienen

unos años de creados, no dejan de tener una efectiva vigencia.

Visual Studio: Plataforma visual para construir software y diseñar interfaces. Se pueden crear numerosas aplicaciones de distintos tipos. En este caso se comenzó construyendo la portada del programa con sus diferentes íconos de funcionalidad. Es un conjunto completo de aplicaciones (Visual Studio .NET); que, aparte de generar aplicaciones de escritorio de alto rendimiento, permite utilizar las eficaces herramientas de desarrollo, basado en componentes y otras tecnologías, para simplificar el diseño, desarrollo e implementación en equipo de soluciones⁽²⁾. Visual Studio.NET posibilita hacer todo la anterior desde una interfaz visual basada en ventanas.

- (2) Otras características fundamentales del programa Visual Studio:

Modelo de programación consistente: A todos los servicios y facilidades ofrecidos por el CLR se accede de la misma forma: a través de un modelo de programación orientado a objetos. El CLR (El CLR: *Common Language Runtime* es el núcleo de la plataforma .NET; constituye el motor encargado de gestionar la ejecución de las aplicaciones para ella desarrolladas y a las que ofrece numerosos servicios que simplifican su desarrollo y favorecen su fiabilidad y seguridad) no es que abstraiga al programador de estos conceptos, sino que son conceptos que no existen en la plataforma .NET. El CLR actúa como una máquina virtual, encargándose de ejecutar las aplicaciones diseñadas para la plataforma .NET. Es decir, cualquier plataforma para la que exista una versión del CLR podrá ejecutar cualquier aplicación .NET.

Integración de lenguajes: Desde cualquier lenguaje para el que exista un compilador que genere código para la plataforma .NET es posible utilizar código generado para la misma usando cualquier otro lenguaje

Gestión de memoria: El CLR incluye un recolector de basura que evita que el programador tenga que tener en cuenta cuándo ha de destruir los objetos que dejan de serle útiles. Este recolector es una aplicación que se activa cuando se quiere crear algún objeto nuevo y se detecta que no queda memoria libre para hacerlo, caso en que el recolector recorre la memoria dinámica asociada a la aplicación, detecta qué objetos hay en ella que no puedan ser accedidos por el código de la aplicación, y los elimina para limpiar la memoria de “objetos basura” y permitir la creación de otros nuevos. Gracias a este recolector se evitan errores de programación muy comunes como intentos de borrado de objetos ya borrados, agotamiento de memoria por olvido de eliminación de objetos inútiles o solicitud de acceso a miembros de objetos ya destruidos.

Ejecución multiplataforma: El CLR actúa como una máquina virtual, encargándose de ejecutar las aplicaciones diseñadas para la plataforma .NET.

Lenguaje de programación C Sharp: conjunto de instrucciones que permite la realización de las operaciones matemáticas y para darle funcionalidad a toda la interfaz - Visualización del software-. Es un lenguaje de propósito general diseñado por Microsoft para su plataforma .NET. (Es un programa orientado a objetos que no admite ni funciones ni variables globales, sino que todo el código y datos han de definirse dentro de definiciones de tipos de datos, lo que reduce problemas por conflictos de nombres y facilita la legibilidad del código. Además, soporta todas las características propias del paradigma de programación orientada a objetos: encapsulación, herencia y polimorfismo. Por otra parte, la sintaxis de este software permite definir cómodamente propiedades (similares a campos de acceso controlado), eventos o atributos (información sobre un tipo o sus miembros).

Manual de usuario del software FRIX-2016

Para la ejecución del software *FRIX-2016*, el único requisito indispensable a ejecutar es la instalación del Microsoft Framework; que, la generalidad de los ordenadores ya lo poseen gracias a otras aplicaciones. Una vez instalado, su ejecución es sencilla; primeramente aparece en la pantalla la portada, en la cual se muestran los distintos íconos -opciones del programa para el cálculo en los diferentes tipos de transmisiones o sistemas tribológicos-; solo basta con hacer clic en la opción deseada. También se puede acceder a un menú desplazable para la consulta de numerosas tablas que posibilitan la selección de los coeficientes de fricción, tipos de correas, etc., necesarios para los cálculos (ver Figura 11).



Figura 11. Menú desplazable para la utilización de las tablas [14].

En la parte superior de la ventana, mostrada en la Figura 11, se pueden observar las diferentes posibilidades de cálculo, de las pérdidas de potencia por fricción previstas, para las transmisiones mecánicas fundamentales: por engranajes,

fricción, correa-polea, cadena-sprocket y las pérdidas que se producen en los diferentes tipos de cojinetes. En cada caso, la selección se realiza según un icono confeccionado al efecto. A manera de ejemplo, se tomó la transmisión por engranajes, la cual contiene una página principal y dos complementarias. Solo basta introducir los valores de los parámetros a cada modelo matemático que aparece en su correspondiente página (ver Figura 12).

Pérdida de potencia en el engranaje

$$\frac{\pi \times \text{[]} \times \text{[Ver tablas]}}{2} \left(\frac{1}{\text{[]}} + \frac{1}{\text{[]}} \right) = \text{[]}$$

Expuestos al medio Cubiertos por una carcasa $N_{PEng} = 0$

Pérdidas de potencia debidas a la agitación del aceite

$$75 \times 10^{-5} \times \text{[]} \times \text{[]} \sqrt{v} \times \text{[]} \frac{200}{\text{[]}} = \text{[]}$$

$N_{PAgit} = 0$

Figura 12. Cálculo de pérdida de potencia en los engranajes y aceite [14].

El programa conserva la estructura original de las fórmulas, para que sea más fácil su comprensión, además contiene hipervínculos en los espacios que necesiten usar coeficientes tabulados.

Esfuerzo proporcionado por la fuerza de la correa

$$k = \text{[Ver tabla]} \times \text{[Ver tabla]} \times \text{[Ver tabla]} \times \text{[Ver tabla]} \times k$$

Hipervínculos

$= 0$

Pérdidas debidas a la elasticidad de la correa

$$N_{PElast} = \text{[]} \times v \times k_p = 0$$

Figura 13. Hipervínculos del programa FRIX-2016 [14].

Coeficiente de fricción estático sobre acero. (f_s)		
Materiales de la unión mecánica.	f_s (Seco).	f_s (Lubricado).
Acero	0.60 - 0.80	0.16
Elabrit base Sn	0.80	0.11
Elabrit base Pb	0.6 - 0.55	0.10
Bronce al Al.	0.45	0.16
Bronce al Sn	0.35	0.16
Latón.	0.35	0.19
H.F.	0.40	0.21
Alasación Cu - Pb.	0.22	-
Gratito.	0.10	-
Teflón.	0.04	-
Madera.	0.20	-
Goma.	1-4	-

Coeficiente de fricción estático acero - acero. (f_s) (para diferentes lubricantes)		
Tipo de lubricante	f_s (20°C).	f_s (100°C).
Aceite máq ligero	0.16	0.19
Aceite motor pesado	0.19	0.20

Figura 14. Ejemplos de tablas sobre el coeficiente de fricción [14].

No se requiere de gran experiencia para escoger un determinado valor, pues el programa conduce exactamente a la tabla que debe usarse, lo que lo hace extremadamente conveniente, con un apreciable valor didáctico (ver Figura 13 y 14).

Ejemplo de aplicación en una transmisión por cadena

A continuación se ofrece un ejemplo de cálculo en una transmisión por cadena (ver en la Figura 15 algunos ejemplos de transmisiones por cadena).



Figura 15. Ejemplos de trasmisiones por cadena.

Fuente:

https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWOWmEs318Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+transmisiones+flexibles+cadena+sprocket&*

(Esta transmisión mecánica por cadena -que pudiera estar presente en cualquier máquina cosechadora de caña, granos, forraje, o implemento agrícola para el laboreo del suelo, operaciones culturales, etc.-) [10-25].

Para el cálculo de las pérdidas de potencia por fricción en una transmisión por cadena, se consideran: las pérdidas que invierten en vencer la rigidez de la cadena, las pérdidas por rozamiento entre la cadena y los dientes de las ruedas de estrella, las pérdidas obtenidas en los cojinetes de los árboles y la resistencia que ofrece el aceite al avance de la cadena.

En el siguiente ejemplo, se considera que esta transmisión está, impulsada por un motor eléctrico que trabaja bajo las siguientes condiciones [14-25].

- $f = 0,029$ Coeficiente de fricción
- $n_1 = 400$ [rpm] Frecuencia de rotación de la estrella conductora
- $N = 8$ [kW] Potencia del motor
- $q = 2,3$ [kg/m] Peso de la cadena por cada metro de longitud
- $r = 0,004$ [m] Radio del pasador de los eslabones
- $t = 0,03$ [mm] Paso de la cadena
- $tp = 160$ [h] Tiempo de trabajo en un mes jornadas 8 h
- $y = 60$ Cantidad de eslabones de la cadena
- $Z_1 = 14$ Número de dientes de la estrella conductora
- $Z_2 = 20$ Número de dientes de la estrella conducida

Estos datos se introducen en el programa, a través de una ventana de diálogo como la mostrada en la Figura 16.

Figura 16. Introducción de datos para el cálculo [14].

Figura 17. Página dos: resultados parciales [14].

Como puede observarse se cuenta con tres páginas para realizar los cálculos. Inicialmente se introducen los datos necesarios, mediante los cuales se obtienen los primeros resultados (ver Figura 17).

La Figura 18 muestra los resultados finales de los cálculos llevados a cabo para este ejemplo:

$$N_p = 0,334kW ; C = 4,8 \text{ Pesos}; k_{pe} = 0,04 \%$$

Figura 18. Resultados Finales [14].

Los resultados obtenidos se refieren a un motor eléctrico. Para calcular las pérdidas de potencia por fricción, de todos los motores eléctricos de una empresa determinada, solo basta con multiplicar el resultado de “C” obtenido por la totalidad de los motores.

CONCLUSIONES

En la revisión bibliográfica y consulta de expertos efectuada, se pudo comprobar que existe una amplia documentación sobre las pérdidas de potencia por fricción; aunque no todos los autores la abordan con igual profundidad. Se pudo apreciar, en determinados autores, tales como: Reshetov, Zinoviev, Dobrovolski, Rodríguez, que tratan esta temática con mayor detenimiento y similitud en los diferentes conceptos que manejan.

En la elaboración de esta metodología, se tomó como teoría fundamental los lineamientos establecidos por Reshetov, Rodríguez y un software -en primera versión- de Yordanis Solano. Este nuevo programa, además de profundizar en los cálculos sobre las transmisiones por cadena, pares dentados y cojinetes, incorpora nuevos parámetros -de forma especial en los pares dentados y cojinetes de rodamiento-, que ayudan muy favorablemente al cálculo de las referidas pérdidas en las transmisiones por fricción, por correa y polea.

FRIX-2016 -elaborado sobre la plataforma de programación Visual Studio 2008, utilizando el lenguaje C Sharp-, es un software mucho más flexible, ya que permite la introducción de los datos siguiendo una secuencia lógica para el cálculo, que facilita obtener resultados preliminares y poder corregirlos; brindando además determinadas facilidades de consulta de tablas, figuras, etc.; lo que lo hace un producto útil desde el punto de vista didáctico y para facilitar determinados cálculos tribológicos en las investigaciones, en la rama de la ingeniería mecánica; y, de forma muy especial, durante el diseño y/o desarrollo de una máquina o implemento de la agricultura.

FRIX-2016 es utilizado, actualmente, con resultados satisfactorios, en el cálculo de las pérdidas de potencia por fricción, durante la proyección de las máquinas, equipos e implementos, contextualizados en el proyecto “Diseño de

equipos y formación de talento humano para el desarrollo agrario sostenible de Chimborazo”

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Baránov. “Teoría de Máquinas y Mecanismos”. 1979.
- [2] V. Dobrovolski. “Elementos de máquinas”. Editorial MIR. Moscú. 1980.
- [3] Franek, F., Vorlauffer, G., Edelbauer, W., & Bukovnik, S. SERBIATRI 07 10 th International Conference on Tribology and WORKSHO 07 Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge SIMULATION OF TRIBOSYSTEMS AND TRIBOMETROLOGY. 2007. Retrieved from <http://tribolab.mas.bg.ac.rs/proceedings/2007/015-024.pdf>.
- [4] Pérez-Ruiz, E. A., Muñoz-Tovar, G. E., Souza, R. M., & Negrín-Hernández, L.-I. Revista científica de ingeniería mecánica. Ingeniería Mecánica (Vol. 17). 2014. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000100006.
- [5] Popov, V. L., & Psakhie, S. G. Numerical simulation methods in tribology. Tribology International, 40(6), 916–923. 2007. <https://doi.org/10.1016/J.TRIBOINT.2006.02.020>
- [6] Hashemi, S., Friedrich, H., Bobach, L., & Bartel, D. Validation of a thermal elastohydrodynamic multibody dynamics model of the slipper pad by friction force measurement in the axial piston pump. Tribology International, 115, 319–337. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.TRIBOINT.2017.05.013>.
- [7] Golubev. “Teorías de Máquinas y mecanismos”. Editorial Instituto Cubano del Libro. La Habana. 1976.
- [8] I. V. Kragelski. “Frictions wear lubrication”. Editorial Mir. Moscú, 1981.
- [9] J. Martínez Escanaverino. “Teorías y prácticas del rozamiento”. Editorial ISPJAE. Ciudad de la Habana, 1986.
- [10] M. N. Navarro Ojeda. “Proceso de desgaste-renovación como modelo de decisión de variantes de fabricación de máquinas y equipos, apoyado en la proyección de la fiabilidad”. Rev. Confederación Panamericana de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines. Panamá. 5 de mayo de 2005.
- [11] M. N. Navarro Ojeda. “El costo material durante la proyección de máquinas”. Rev. Ciencias Holguín. Vol. 19, No. 2 Año XIX, Abril –Junio, pp1-15. 2013
- [12] Por qué el mundo gira gracias a la Tribología. 5to Congreso Mundial de Tribología (World Tribology Congress, WTC). Turín. Italia. Recuperado de: <http://evolution.skf.com/es/por-que-el-mundo-gira-gracias-a-la-tribologia/>. 2014.
- [13] D. N. Reshetov. “Elementos de máquinas”. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, 1985.
- [14] Solano Rivas, Yordanis. Software para el cálculo de potencia por fricción en elementos de máquinas. Facultad de Ingeniería. UHo. 2003.
- [15] C. Rodríguez Martínez. “Tribología. Ciencia y técnica”. Universidad de Oriente. ISJAM. Santiago de Cuba. 2014.
- [16] Transmisiones Flexibles: Polea-Correa. Recuperado de: [https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+transmisiones+correa+polea&*](https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+transmisiones+correa+polea&*.). 2016.
- [17] Transmisiones Flexibles: Cedena-Sprocket. Recuperado de: [https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+transmisiones+flexibles+cadena+sprocket&*](https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+transmisiones+flexibles+cadena+sprocket&*.). 2016.
- [18] Transmisiones Dentadas. Recuperado de: [https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+ruedas+dentadas&*](https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+ruedas+dentadas&*.). 2016.
- [19] Cojinetes de Deslizamiento. Recuperado de: [https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+cojinetes+de+deslizamiento&*](https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+cojinetes+de+deslizamiento&*.). 2016.
- [20] Cojinetes de Rodamiento. Recuperado de: [https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+cojinetes+de+rodamientos&*](https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=r07MWO WmEs3I8Ae8p5SoDg&gws_rd=ssl#q=imagenes+cojinetes+de+rodamientos&*.). 2016.
- [21] Tecnologías y lenguajes de Visual Studio. Recuperado de: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/bb514232\(v=vs.100\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/bb514232(v=vs.100).aspx). 2016.
- [22] Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación. Ingeniería de Superficies. Gijón. Recuperado de: file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/2010proyeccion_1_tribologia-2.pdf. 2009.
- [23] Tribología: Fricción y Desgaste Universidad Carlos III, Madrid. Recuperado de: http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/grupos_investigacion/comportamiento_servicio_materiales/tribologia. 2016.
- [24] Triboforum. Nuevo software de simulación de tribología. Darmstadt (Alemania). Instituto de Ingeniería de la Producción y Conformado de la

Universidad Técnica Automotrices. Recuperado de:
<https://ingenierosantacruz.wordpress.com/2016/02/29/automotrices-aplican-nuevo-software-de-simulacion-de-tribologia/>. 2016.

- [25] V. A. Zinoviev. “Teorías de los mecanismos y máquinas”. Editorial Ediciones UPC. Barcelona. 2001.
- [26] C# Specification. Microsoft Corporation. Consultado en <http://www.msdn.microsoft.com/net>. Febrero 2010.

Fabricación e inspección de tanques de presión bajo la norma ASME

Edisson Calderón Freire, Sergio Villacrés Parra, Mayra Viscaino Cuzco, César Gallegos Londoño.

Grupo de Investigación
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.

edisson.calderon@esPOCH.edu.ec, sergio.villacres@esPOCH.edu.ec, mayra.viscaino@esPOCH.edu.ec, cesar.gallegos@esPOCH.edu.ec.

Resumen

El documento a continuación, consta de varios artículos de total interés para la fabricación e inspección de recipientes de presión, siguiendo los lineamientos que solicita el código ASME. La metodología utilizada para elaborar este artículo se basa en el estudio de varios datos históricos obtenidos mediante observación en la industria. El código ASME es muy extenso y en esta presentación se precisa discutir sobre la sección VIII división 1 y 2, que son las pautas generales para la fabricación de los recipientes de presión. Los objetivos principales son, familiarizarse con las normas del Código ASME, aplicarlas en la etapa de inspección y verificación, presentar actuales alternativas en la inspección y proporcionar al sector industrial una guía para fabricación de tanques de presión. Las observaciones adquiridas y la experiencia profesional permiten crear un diagrama del proceso de conformado de un recipiente de presión, bajo las especificaciones del Código ASME.

Palabras Claves

ASME, ensayo no destructivo, fabricación, inspección, recipiente de presión, soldadura.

Abstract

The document below consists of several articles of total interest for the manufacture and inspection of pressure vessels, following the guidelines requested by the ASME code. The methodology used to elaborate this article is based on the study of several historical data obtained through observation in the industry. The ASME code is very extensive and in this presentation it is necessary to discuss section VIII division 1 and 2, which are the general guidelines for the manufacture of pressure vessels. The main objectives are, to become familiar with the ASME Code standards, apply them in the inspection and verification stage, present current alternatives in the inspection and provide the industry with a guide for the manufacture of pressure tanks. The acquired observations and professional experience allow to create a diagram of the process of forming a pressure vessel, under the specifications of the ASME Code.

Index Terms

ASME, fabrication, inspection, non-destructive testing, pressure vessel, welding.

I. INTRODUCCIÓN

A. Reseña histórica

En el ocaso del siglo XVII, el descuido, la negligencia y la falta de prevención, de los operadores y constructores de recipientes de presión causó muchas fallas y explosiones de

calderas en los Estados Unidos y Europa. Adicionalmente las fallas de diseño en las válvulas de seguridad e inspecciones inadecuadas produjeron una notable pérdida de vidas humanas, en el campo relacionado con los recipientes de presión. En 1817, se establece un comité, este comité recomienda que se establezca un Instituto Legislador y se reglamenten las capacidades de presión, Instalación adecuada

a la válvula de alivio e inspección mensual. (Kisel et al. 2006). La construcción de tanques de presión mediante cordones de soldadura inicia desde la década de 1910, donde se hallan varias fallas y principalmente falta de fiabilidad en la soldadura. (Huang et al. 2012)

Entre 1911 y 1921, los fabricantes y usuarios de calderas y recipientes a presión recurrieron al directorio de la A.S.M.E., para corregir esta situación. De esta forma se formaron numerosas agrupaciones como:

A.S.A (Asociación Americana de Estándares) ahora ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales)

A.I.S.C. (Instituto Americano del Acero de Construcción)

A.W.S. (Sociedad Americana de Soldadura).

Posteriormente se divide el código para mejorar el estudio en las diferentes áreas que así lo ameritan. Las más importantes y las que proporcionan la mayor cantidad de información son la sección I (Calderas de Presión) y la sección VIII (Recipientes a presión).

B. Clasificación Del Código ASME

Sección I	Calderas de Potencia
Sección II	Especificación de Materiales
Sección III	Requisitos generales para División 1 y División 2
Sección IV	Calderas para Calefacción
Sección V	Pruebas no Destructivas
Sección VI	Normas y Recomendaciones para el cuidado y operación de Las Calderas de Calefacción
Sección VII	Guía y recomendaciones para el cuidado de Calderas de Potencia
Sección VIII	Recipientes a Presión
Sección IX	Calificación de Soldadura
Sección X	Recipientes a Presión de Plástico reforzado en fibra de Vidrio
Sección XI	Normas para Inspección en servicio de Plantas Nucleares

C. Código ASME Sección VIII División 1 y 2

En el diseño, la fabricación e inspección de los tanques de presión el código es inmensamente útil. La sección VIII, presenta todos los lineamientos que por norma se deben seguir para que un equipo de esta magnitud sea certificado. (Guzmán 2006). El código también establece dentro de esta sección existen dos divisiones, donde se especifican los criterios generales y los criterios específicos de diseño.

La división 1 es un recuento de ítems utilizados en el diseño, fabricación e inspección de los recipientes de presión. Generalmente estos equipos están diseñados para ser utilizados en el campo de la explotación petrolera, por lo tanto, es menester conocer el proceso para el cual se solicita un determinado recipiente de presión.

La división 2 es el complemento de las reglas generales, en

esta sección se presentan las condiciones especiales de diseño para recipientes que trabajan en situaciones peculiares. (CÓDIGO 2001)

Con el cumplimiento de todo lo estipulado en la normativa, los inspectores autorizados otorgan el consentimiento para el estampe ASME. Una empresa certificada posee un documento habilitante como se muestra en la figura 1. La certificación de la empresa debe ser validada periódicamente por personal calificado.



Fig. 1. Certificado de autorización para estampado ASME

Los requerimientos del código establecen claramente, que deben cumplirse sin objeción alguna. Todo ello destinado con la finalidad de proporcionar equipos fiables y duraderos.

II. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Los datos presentados en esta investigación, representan una base compilada mediante la experiencia profesional y reseñas de datos históricos, utilizadas en la fabricación e inspección de recipientes de presión.

Alguna de las empresas que se dedican a esta actividad económica son: ACINDEC S.A., Industria Acero de los Andes (IAA), B & T, ENATIN S.A., entre otras. Para establecer un marco de referencia se establece un estudio de las variables que intervienen en la fabricación e inspección de recipientes de presión en dos empresas del sector productivo.

A. Materiales

En el diseño de tanques de presión, el material utilizado debe ser de alta resistencia mecánica y con características que le permitan combatir todas las sollicitaciones que ejercen sobre el recipiente.

Una causal para la falla en estos equipos, depende principalmente de la calidad de los materiales utilizados en los componentes del recipiente.

Los materiales de construcción se enlistan a continuación en la siguiente tabla:

TABLA I
MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE RECIPIENTES
BAJO LA NORMATIVA ASME

Descripción	Material
Cuerpo	SA 516 – 70
Cabezas	SA 516 – 70
Accesorios	SA 234 – WPB
Bridas	SA 105
Tuberías	SA 106 Gr B
Estructura y soportes	SA 36
Componentes internos	SA 516 – 70

Este listado es tomado del Dossier de Calidad, de un recipiente fabricado en la empresa B&T, donde sus datos técnicos presentan una presión de diseño de 150 psi. Las especificaciones y requerimientos de cada material están estipuladas en el código ASME sección II.

B. Diagrama del Proceso de Fabricación

Los Recipientes de presión son ampliamente utilizados en la industria en general, ya sea como almacenamiento o como parte de algún proceso en específico. En especial son de uso muy común en la industria petrolera, pues en ellos se realizan los diferentes procesos a los que se somete la mezcla de hidrocarburos.

El diagrama de proceso, muestra 4 etapas fundamentales, figura 2: el diseño, la fabricación, la inspección y la certificación. Aunque este diagrama muestra pasos consecutivos, en la practica la fabricación e inspección suelen, tener varias actividades que se la realiza de forma pareja o alternadamente.

El diseño, se encuentra a cargo del departamento de ingeniería, donde se establecen las dimensiones generales, la forma del tanque de presión y la ubicación de las bocas (nozzle). Además, se realizan minuciosos cálculos para determinar la resistencia y durabilidad del mismo.

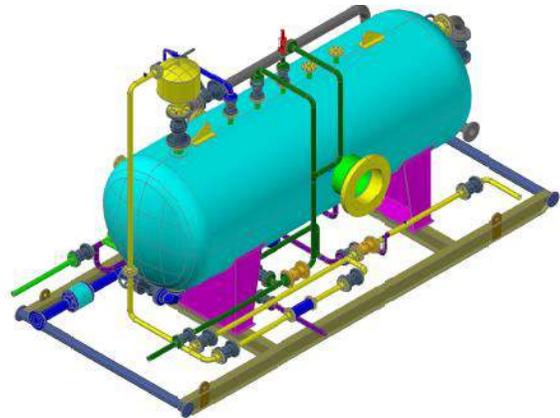


Fig. 2. Diseño de separador de prueba trifásico horizontal.

De forma general estos cómputos se llevan a cabo en hojas de cálculo muy bien diseñadas, pero en la actualidad la institución ASME, provee a las empresas fabricantes de un software de diseño llamado COMPRESS de la compañía CODEWARE (Naranjo et al. 2011).



Fig. 3. Diagrama de proceso de fabricación ASME

El proceso de fabricación y las etapas de inspección son actividades que demandan más tiempo y poseen mayor interés en este documento.

III. PROCESO DE FABRICACIÓN

Son todas las actividades pertinentes al conformado de los recipientes de presión, modificando las características de los materiales. Operaciones de manufactura como: conformado de cabezas, el rolado de planchas, soldadura de anillos, soldadura de boquillas y soldadura de partes estructurales. En esta parte del código se establecen los requerimientos mínimos para la fabricación a fin de obtener la certificación autorizada del ASME para los recipientes a presión.

A. Conformado de Cabeza

Esta actividad consta del corte de los módulos necesarios para la conformación de las secciones de la cabeza, posteriormente se realiza la embutición de los módulos y finalmente se sueldan las partes. Se obtienen cabezas semielípticas, establecidas como aprobadas según el código ASME. Figura 4.



Fig. 4. Conformado de Cabezas IAA.

B. Rolado de Planchas

Mediante una baroladora hidráulica, se procede al conformado del cuerpo del recipiente, generando anillos para su posterior soldadura, siendo las más importantes las soldaduras circunferenciales y longitudinales. Figura 5.



Fig. 5. Rolado de planchas IAA

C. Soldadura

Siendo la etapa más importante del proceso, se toma bastante importancia en la calificación de los procedimientos de soldadura y la calificación de los soldadores.

Se toma muy en cuenta en la inspección, los documentos que garantizan la calidad de la fabricación como son los WPS, WPQ y PQR. (Código and Sección 2009), (Código 2009)

Para asegurar que se cumplan todos los parámetros el inspector de calidad y el jefe de producción siguen con cuidado la fabricación del recipiente de presión. Finalmente, estos cordones de soldadura se someterán a varias pruebas no destructivas que cierran el diagrama del proceso.

IV. INSPECCIÓN Y VERIFICACIÓN

Consiste en la examinación y el control de todos los puntos sometidos a prueba, además se verifica la documentación y se elabora un Dossier de Calidad, que consta de todos los controles realizados para alcanzar la Certificación ASME. Los documentos principales que debe constar en un Dossier de Calidad son: programa de exámenes e inspección, registro de materiales, registro de soldadura y reporte de prueba hidrostática.

A. Recepción del material

Este proceso receipta material nuevo ingresado en la planta y contrasta con certificados la veracidad del producto. Antes de empezar a fabricar todos los materiales deben estar liberados por parte de control de calidad para iniciar la manufactura de los mismos. Cuando se reciben las planchas de acero, se verifica el sello o marcaje realizado por el fabricante de la lámina. Posteriormente se verifica el espesor medio y se procede a la liberación de este material. El mismo procedimiento se realiza para liberar el material utilizado en los conductos internos y externos, así tanto como para las bocas y los soportes.

B. Inspección visual QW-194

Es sin duda una de las pruebas no destructivas más ampliamente utilizada, gracias a ella, es posible obtener información inmediata de la condición superficial de los materiales que estén siendo inspeccionados.

En la calificación de defectos, se utilizan galgas estandarizadas para medir diversos parámetros, en el caso del inspector de soldadura la galga de profundidades, establece la dimensión exacta del cordón de soldadura. La observación y el análisis facilitaría la prevención de riesgos y accidentes en el momento de operación del recipiente. (Kim and Choi 2013)

C. Examen radiográfico QW-191

Método de prueba no destructiva que se utilizan para evaluar las discontinuidades internas en un cordón de soldadura, con el objetivo de establecer la integridad estructural de la unión de los dos metales sin destruir el componente soldado.

Consiste en colocar una película radiográfica, cuya función es cambiar de tonalidad en el área que recibe radiación, mediante una partícula irradiante. El resultado queda plasmado en la película situada en la parte posterior del material metálico.

En algunos estados está prohibido la utilización de este método, y se está tomando serio interés en la utilización de ultrasonido para evaluar los cordones de soldadura. Las juntas longitudinales y las juntas circunferenciales son inspeccionadas con ultrasonido. (Nanekar, Jothilakshmi, and Jayakumar 2013)

D. Líquidos penetrantes QW-195

El fundamento del método de líquidos penetrantes se basa en el fenómeno de absorción de un líquido por efecto de la acción capilar en discontinuidades tales como fisuras, solapes, grietas, porosidades, etc., de naturaleza superficial.

La inspección con tintas penetrantes es utilizada en una amplia gama de componentes, siempre y cuando los defectos o imperfecciones rompan la superficie del material. (Ashok Reddy 2017)

E. Ultrasonido

Las técnicas de ultrasonido son comúnmente utilizadas, se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, y su funcionamiento se basa en la impedancia acústica del material, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad del mismo. Una técnica avanzada de los ensayos de ultrasonido es el Phased array (PA). (Nardo et al. 2016)

F. Partículas magnéticas

El método de ensayo no destructivo por partículas magnéticas se utiliza para la detección de defectos superficiales y subsuperficiales, en la detección de posibles discontinuidades en la inspección de materiales ferromagnéticos.

La técnica de partículas magnéticas es una técnica no destructiva relativamente sencilla y menos costosa comparada con el ensayo de ultrasonido, basada en la propiedad de ciertos materiales de convertirse en un imán. La razón es una estrecha analogía entre las reacciones de la calidad de la microestructura del acero bajo una carga mecánica aplicada. (Tomáš et al. 2013)

V. RESULTADOS

Los resultados presentados se enfocan en cuatro inspecciones fundamentales para la certificación de recipientes de presión: se analiza la inspección de una cabeza semiesférica, la recepción de una plancha de acero, el ensayo de ultrasonido para boquillas de proceso y la prueba hidrostática de un separador trifásico con presión de diseño de 1354 psi, capacidad nominal de 10 m³ y un peso bruto en vacío de 22,4 toneladas. Diseñado, fabricado e inspeccionado bajo el código ASME sección XIII división 2.

A. Inspección de cabeza semiesférica

Para la aprobación de este componente, de un recipiente de presión se verifica las dimensiones y espesores como se muestra en la figura 6. Se verifica con plantilla el radio mayor (R), el radio menor (r), y la altura de pestaña (h). Mientras que el espesor se mide mediante equipo de ultrasonido tomando 8 medidas sobre las líneas especificadas. El equipo exclusivo utilizado en fabrica es el medidor de espesores de material ElcoMaster® 304. Los resultados son presentados en la tabla II y III, donde se especifican las dimensiones mencionadas.

TABLA II
DATOS ESPECÍFICOS DEL COMPONENTE: CABEZA A

Cabeza A	
Material	SA 516 70N
Cast N°	2H419
Diámetro interior requerido (R)	1524 mm
Diámetro interior max.	1529 mm
Diámetro interior min.	1524 mm
Pestaña (h)	50 mm
Altura interna	435 mm
Diámetro de perforación	---
Diámetro menor (r)	15 mm
Verificación contra plantilla	
Desviación interna	---
Desviación externa	5,5 mm

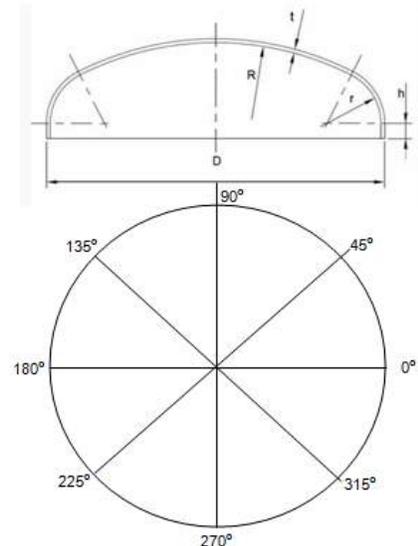


Fig. 6. Reporte de inspección dimensional

El término “Cast”, especifica el número de colada en el proceso de fundición del componente metálico. De esta forma se da continuidad y se puede monitorear, contrastando las propiedades mecánicas con el certificado de calidad expedido por el fabricante.

TABLA III
MEDICIÓN DE ESPESORES DEL COMPONENTE: CABEZA A

Espesor (mm)			
0°-180°	45°-225°	90°-270°	135°-315°
58,97	61,66	60,53	60,31
60,06	57,52	57,87	57,37
56,67	58,04	56,72	57,86
58,11	56,47	56,87	57,28
56,87	56,93	57,77	57,72
57,26	56,90	57,79	57,51
56,48	58,02	56,81	57,97
60,68	61,84	59,80	61,13

Las observaciones en esta inspección indican, un espesor mínimo medio de 56,72 mm y el espesor mínimo requerido es de 55,62 mm. La desviación máxima encontrada es de 5,5 mm hacia el exterior.

Estas dimensiones caracterizan la forma circular y semiesférica que debe tener una cabeza para un recipiente de presión. Las desviaciones se encuentran dentro del rango de tolerancias y cumple con ASME sección VIII división 1, parágrafo UG 81. Por lo tanto, el resultado de la inspección es ACEPTADO, y procede para fabricación.

B. Recepción de la plancha de acero

Una plancha de acero es verificada mediante inspección visual, medición de espesores por ultrasonido y por tintas penetrantes para comprobar que no exista delaminación. Los resultados se presentan en la tabla IV, donde se especifican las dimensiones realizadas por “spots”, es decir se realiza una serie de 5 medidas en un metro cuadrado y se presenta una medida promedio.

TABLA IV
DATOS Y MEDICIÓN DE ESPESORES

Plancha de acero (Dimensiones generales)				
Longitud	12192 mm			
Ancho	2438 mm			
Material	SA 516 70			
Cast N° / Test	S15718 / O4A-A			
Espesores (spot) mm				
50,83	50,77	50,79	50,81	
50,82	50,80	50,85	50,83	
50,84	50,84	50,80	50,81	
50,78	50,80	50,82	50,82	
50,81	50,82	50,81	50,84	
50,83	50,82	50,82	50,80	
50,79	50,77	50,80	50,79	

Los resultados presentados en la medición de espesores garantizan cantidad de sobre material necesario para conformar los recipientes a presión. Además, una inspección visual exhaustiva indica una buena apariencia y se concluye que no es necesario utilizar tintas penetrantes en los bordes de las

planchas. El espesor medio es de 50,81 mm, lo que indica que el material para la construcción del recipiente de presión es aprobado conforme ASME sección II A, especificado como SA 516 70.

C. Ensayo de Ultrasonido

El reporte de inspección de ultrasonido, garantiza la penetración total del cordón de soldadura aplicado en dicha boquilla, en este recipiente se realiza el ensayo de ultrasonido sobre 23 boquillas ubicadas a diferentes alturas del separador. El equipo es GS PHASOR XS/001LM3L, la técnica es pulsoeco, a 15° de inclinación con una frecuencia 5 MHz. Se evalúa alrededor de la boquilla verificando que no existan indicaciones en el interior del cordón de soldadura. La figura 7, muestra una imagen ultrasónica de discontinuidades que quedan en las soldaduras, que cumplen con los criterios de aceptación.

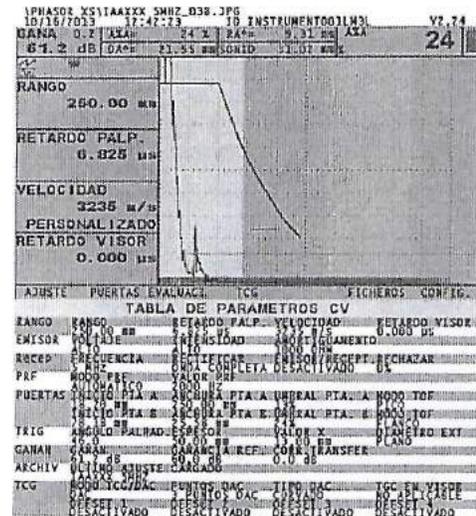


Fig. 7. Captura de ensayo de ultrasonido

Las discontinuidades que no son admisibles son aquellas que sobrepasan la curva DAC (Curva de corrección Amplitud-Distancia). El ensayo de ultrasonido es necesario, para juntas soldadas a filete, es decir donde las superficies en contacto a soldar forman un ángulo igual a 90°. El criterio de aceptación para el ensayo de ultrasonido, es el código ASME sección VIII división 2, literal 7.5.4.2. Por tal motivo se asegura un cordón de soldadura limpio y con penetración total.

D. Prueba Hidrostática

Es el último ensayo mecánico que se realiza sobre el recipiente de presión, antes de que se realice el recubrimiento mediante pigmentos orgánicos. El ensayo consiste en elevar la presión en el interior del tanque mediante agua, hasta que se eleve 1,5 veces la presión de diseño (1975 psi). Durante 30 minutos, posteriormente se realiza la evaluación e inspección visual a una presión menor (1400 psi). La figura 8 indica el aumento de presión a medida que avanza el tiempo.

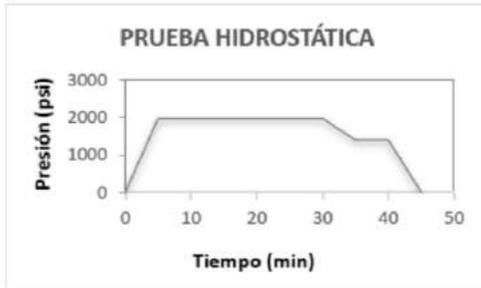


Fig. 8. Curva de presión – tiempo

Los manómetros utilizados en este ensayo, y los demás equipos deben poseer sus certificados de calibración. Culminada esta prueba se puede certificar que un recipiente de presión fue diseñado, fabricado e inspeccionado bajo el código ASME sección VIII división 2, conforme a lo establecido en el código de calderas y recipientes de presión (BPVC). Existiendo evidencia de tal proceso en el estampe sobre la placa del recipiente y con la respectiva firma del “DATA REPORT”.

VI. CONCLUSIONES

El presente documento permite, caracterizar y familiarizarse con la fabricación de los recipientes de presión. Sin duda adquiriendo herramientas precisas para indagar en el código ASME.

A menudo el conformado de chapa metálica en el país, tiene varias complicaciones en el momento de obtener un producto final. Por lo tanto, las inspecciones presentadas en este documento aseguran la forma geométrica de los tanques de presión que inicialmente fueron diseñados por computadora.

Lo que se persigue también con este documento, es justificar la intervención de varios ensayos no destructivos, en el control de calidad de un equipo sometido a altas presiones. Varios defectos presentes en la materia prima, por ejemplo, una plancha de acero con espesores fuera de rango, podrían generar un incidente catastrófico con el medio ambiente principalmente.

Las exigencias establecidas por el código, permiten al fabricante elaborar equipos de presión con las garantías del caso, pudiendo asegurar el correcto funcionamiento del recipiente de presión en condiciones normales de operación.

Las técnicas actuales, los requerimientos legales, la necesidad de optimizar los tiempos de trabajo, y la utilización de radiaciones ionizantes perjudiciales para la salud, inclinan las alternativas, prefiriendo utilizar técnicas de ultrasonido para evaluar los cordones de soldadura.

Se establecen parámetros de fabricación en el código, principalmente en lo que a soldadura se refiere. Y finalmente, se menciona que el código ASME, es una guía práctica reconocida a nivel mundial en el proceso de fabricación de tanques de presión y otros equipos para la industria.

REFERENCIAS

- Ashok Reddy, K. 2017. “Non-Destructive Testing, Evaluation Of Stainless Steel Materials.” *Materials Today: Proceedings* 4(8): 7302–12.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317313482>.
- Código, ASME. 2009. “Sección IX.” *Calificación de Soldaduras y Soldaduras Fuertes*.
- CÓDIGO, ASME. 2001. “Sección VIII Divisiones 1 Y 2.”
- Código, ASME, and I X Sección. 2009. “Soldadura: Desarrollo Y Calificación de Procedimientos Y Soldadores.” *Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos*.
- Guzmán, L. 2006. “Diseño Mecánico de Recipientes a Presión Bajo El Código ASME Sección VIII, División.”
- Huang, Chin-Cheng et al. 2012. “Probabilistic Fracture Analysis for Boiling Water Reactor Pressure Vessels Subjected to Low Temperature over-Pressure Event.” *Annals of Nuclear Energy* 43: 61–67.
- Kim, Eui Soo, and Seung-Kyum Choi. 2013. “Risk Analysis of CNG Composite Pressure Vessel via Computer-Aided Method and Fractography.” *Engineering Failure Analysis* 27: 84–98.
- Kisel, Carlos, Lucas Mantovani, Hernan Moscoso, and Hector Sbuttoni. 2006. “Preservation of Pressure Vessels and Fullfilling of Current Regulations.” In *16 Th Rolling Conference*, , 471–80.
- Nanekar, Paritosh, N. Jothilakshmi, and T. Jayakumar. 2013. “Ultrasonic Phased Array Examination of Circumferential Weld Joint in Reactor Pressure Vessel of BWR.” *Nuclear Engineering and Design* 265: 366–74.
- Naranjo, Oscullo, Cristina Giselle, Jácome Tapia, and José Luis. 2011. “Diseño de La Red de Aire Comprimido, Del Recipiente de Almacenamiento de Aire Y Del Sistema de Climatización Del Área de Pintura, Para La Planta de Producción de Recipientes a Presión Y Facilidades de Producción de La Compañía SERTECPET SA-Ecuador. Ubicad.”
- Nardo, R. Molica et al. 2016. “Detection, Characterization and Sizing of Hydrogen Induced Cracking in Pressure Vessels Using Phased Array Ultrasonic Data Processing.” *Procedia Structural Integrity* 2: 581–88.
- Tomáš, I., G. Vértesy, F. Gillemot, and R. Székely. 2013. “Nondestructive Magnetic Adaptive Testing of Nuclear Reactor Pressure Vessel Steel Degradation.” *Journal of Nuclear Materials* 432(1): 371–77.

Parametrización de una turbina de flujo axial acoplada a una bomba de alta presión

Ordóñez Marco ¹, Aquino Miguel ¹, Pozo Edwin ¹, Choto Santiago ¹, Escobar Miguel ¹

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.

marco.ordonezo@esPOCH.edu.ec , saquino4770@esPOCH.edu.ec , edpozo@esPOCH.edu.ec, sachoto@esPOCH.edu.ec, C

Resumen

La energía hidráulica es un recurso renovable que puede satisfacer un porcentaje importante del requerimiento de la energía mundial, este proyecto consiste en el diseño y cálculo de las partes de una micro central de bombeo de agua con una micro turbina, por la cual fluye agua. Generalmente las pequeñas centrales hidráulicas no se construyen con esta idea por considerarlas económicamente no rentables, sin embargo con este trabajo se pretende demostrar que es posible instalar una central de bajo costo y alto rendimiento. El proyecto comienza con la adecuación del lugar para instalar la central de bombeo y debido a las características de la ubicación, salto y caudal, se determinó la turbina apropiada optando como la mejor opción la turbina del tipo Kaplan. Los cálculos para hacer el estudio se realizaron siguiendo principios fundamentales de la hidráulica y mecánica. Las partes involucradas en este proyecto son turbina, que tiene que ser diseñada acorde a las características del lugar y las variables hidráulicas, así, el canal de conducción, distribuidor, impulsor, los álabes aerodinámicos y tubo de aspiración.

Palabras Claves

Energía hidráulica, micro turbina, álabes aerodinámicos.

Abstract

Hydropower is a renewable resource which can satisfy a significant percentage of the energy required in the world. This project involves the design and calculation of the parts of a water micro – pumping station with a micro turbine, through which water flows. Usually small hydroelectric plants are not built to be considered unprofitable; however the objective of this work is to demonstrate that it is possible to install a low – cost central of high performance. The project begins with the search for a suitable location for the pumping station and due to the characteristics of the location, waterfall and flow, the proper turbine was chosen among the three most important types of turbines, it was determined that the best option was the axial Kaplan type. The calculation for the study were conducted following fundamental principles of physics, especially hydraulic and mechanics. The parts involved in this project are: the turbine which must be designed according to the characteristics of the place and hydraulic variables and the water conveyance canal, distributor, impeller, aerodynamic blades and draft tube.

Index Terms

Hydropower, micro turbine, aerodynamic blades.

I. INTRODUCCIÓN

EL convertir la energía hidráulica en energía mecánica ha sido históricamente una tarea tecnológica que ha venido evolucionando, así desde tiempos ancestrales el hombre explotó el recurso hídrico, sea para la navegación o transformación de energía, hasta que en la actualidad la explotación con grandes turbinas no ha logrado solucionar el problema energético en sectores remotos, no así, con micro turbinas para que los pequeños caudales y saltos aprovechados de canales en el sector rural y remoto son una gran solución, pues abastecer de líquido vital sea para consumo o sea para riego, se transforma en una realidad utilizando una pequeña turbina de flujo axial.

Esta turbina funciona tomando todo o una parte de la corriente de agua para hacerla pasar por el canal interno, haciendo girar la turbina, para luego dejarla fluir libremente. Únicamente requiere de un flujo constante de agua en caída vertical (una pequeña cascada de río, presa, o canal de desvío) y suficiente fuerza en el agua. La fuerza motriz del eje tiene la capacidad de mover una bomba o cualquier tipo de máquina que tenga movimiento rotacional.

Preguntas de investigación

¿Cómo influirán los perfiles axiales de la turbina en el funcionamiento de la bomba?

¿Qué principios y leyes deben ser aplicados en el diseño de un prototipo de máquina turbina-bomba?

¿Qué altura de bombeo proporcionara este conjunto?

Objetivo general

Determinar los parámetros de funcionamiento de una turbina de flujo axial acoplada a una bomba de alta presión.

Objetivos específicos

Determinar las características de máxima eficiencia de la turbina.

Diseñar el perfil aerodinámico de los álabes del rotor según norma NACA.

II. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Las turbinas Kaplan son uno de los tipos más eficientes de turbinas de agua de reacción de flujo axial, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice del motor de un barco, y deben su nombre a su inventor, el austriaco Viktor Kaplan (Alvarez Gavina, y otros, 2010).

Se emplean en saltos de pequeña altura y grandes caudales. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta (Forget, 2011).

Las turbinas de hélice se caracterizan porque tanto los álabes del rodete, como los del distribuidor son fijos, por lo que solo se utilizan cuando el caudal y el salto son prácticamente constantes (Rodríguez Hernández, Gomez Del Pino, & Zanzi, 2016).

A. Clasificación de las turbinas

La clasificación de las turbinas se detalla en la Fig. 1 (Diez, 1996)

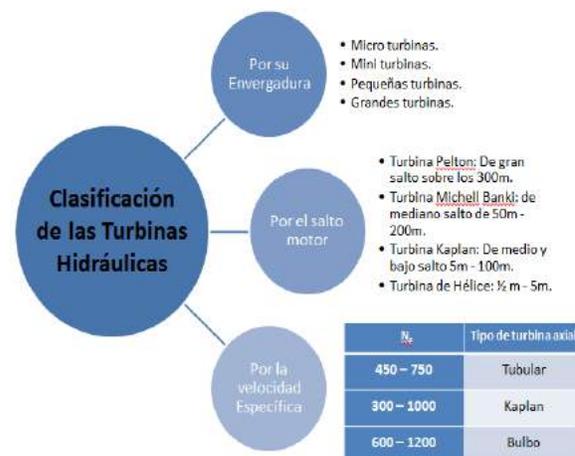


Fig. 1. Clasificación de las turbinas

B. Funcionamiento de la turbina

Hay muchas partes esenciales en la turbina de flujo axial tales como el distribuidor, rotor, carcasa y tubo de aspiración (García Perez, 2017). La turbina fue diseñada para tener un número mínimo de álabes (de 4 a 6 en número) radialmente orientados en el cubo como se muestra en la Fig. 2 (Vidal Yeiber, 2010). El rotor de una turbina Kaplan es una parte difícil de diseñar, este es el componente más importante de la turbina y el perfil del álabes está diseñado en secciones diferentes desde el

cubo a la carcasa para obtener el mejor rendimiento y eficiencia. Los álabes tienen una ligera curvatura que causa pérdidas de flujo relativamente bajas. En la turbina, el flujo ingresa a través de un canal espiral para que el agua llegue en forma lineal e inicie la formación del vórtice y alimente homogéneamente alrededor de todas las paletas del distribuidor. Esta espiral se asemeja a la carcasa de las turbinas y depende de la forma del rotor (Beling, 2006).

El agua después de cruzar las paletas del distribuidor pasa por encima del rotor. El agua entra en las palas en dirección axial de un lado y sale por el otro lado de manera que una gran cantidad de agua fluye a través del rotor. La función del rotor es convertir la energía potencial de presión (Cabeza) y el flujo de agua en energía mecánica de rotación o caballo de fuerza. Por último, se sale a través de un tubo de aspiración



Fig. 2 Turbina de flujo axial

III. METODOLOGÍA

A. Potencia y número específico de revoluciones

La potencia disponible de la turbina está dado por

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{75} \tag{Ec. 1}$$

El número específico de revoluciones está dado por

$$Ns = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{H \cdot \sqrt[4]{H}} \tag{Ec. 2}$$

B. Diámetro del rotor y del cubo

Diámetro del rotor

$$D^2 = \frac{Q_{max}}{Q_1 \cdot \sqrt{H}} \tag{Ec. 3}$$

Diámetro del cubo

$$Km = Dc/D \tag{Ec. 4}$$

C. Diseño aerodinámico de los álabes

Para un $Ns = 676$

$l/t = 0,9$ a la periferia

$l/t = 1,15$ al cubo

Se determina el paso en el radio del cubo en la periferia con la siguiente relación:

$$t_k = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{Z_r} \tag{Ec. 5}$$

TABLA I
RECOPIACIÓN DE DATOS DEL ROTOR

Valor	t	l/t	L	s/l	S
Cubo	82,7	1,15	95,1	0,00010	0,010
Periferia	157	0,9	141,3	0,000039	0,0056

D. Determinación de áreas y radios de turbinas parciales

El área está dada por

$$S = l \cdot b \tag{Ec. 6}$$

Radios parciales

$$R_k = \sqrt{\left(S_{k-1} + \frac{S_k}{Z}\right) \frac{1}{\pi}} \tag{Ec. 7}$$

E. Análisis del Triángulo de Velocidades

La velocidad tangencial o periférica

$$U = U_1 = U_2 = \frac{\pi ND}{60} \tag{Ec. 8}$$

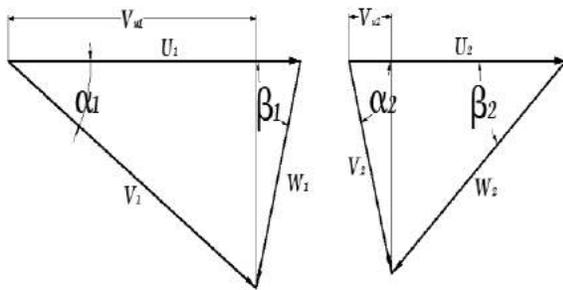


Fig. 3 Triángulo de Velocidades

$$V_{1a} = V_2 = \frac{Q}{S_2}$$

$$\beta_2 = \arctg \frac{V_2}{U_2}$$

$$W_2 = \frac{V_2}{\text{sen}\beta_2}$$

$$V_{u1} = \frac{\eta_i \cdot g \cdot H}{U}$$

$$\beta_1 = \arctg \left(\frac{V_{1a}}{U - V_{u1}} \right)$$

$$W_1 = \frac{V_{1a}}{\text{Sen}\beta_1}$$

F. Determinación del perfil Aerodinámico

Cuando se diseña una turbina axial debe hacerse de acuerdo a un perfil aerodinámico que ha sido probado en un túnel de viento, por lo que en primer plano se debe determinar las magnitudes de las fuerzas que actúan en el a través de los coeficientes de empuje y resistencia de esos perfiles (Gebhardt, 2011).

El empuje que el fluido imprime al álabes, está dado por la ecuación:

$$P = \frac{1}{2 \cdot g} c_l \cdot \rho \cdot S \cdot W_\infty^2 \tag{Ec. 9}$$

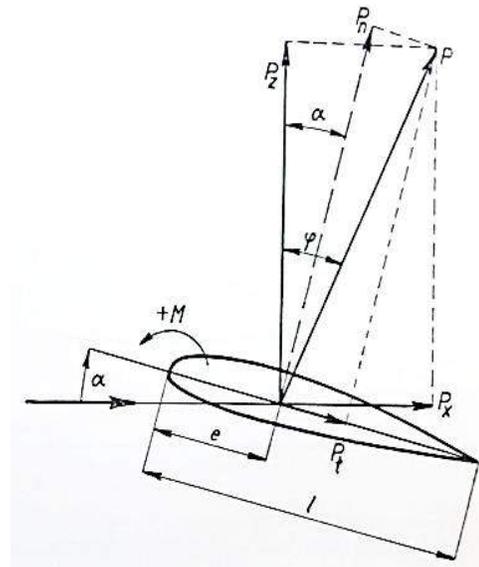


Fig. 4 Fuerzas que actúan en el álabes

$$P_x = \frac{c_x \gamma}{2 g} V^2 S$$

$$P_z = \frac{c_l \gamma}{2 g} V^2 S$$

Acorde a la teoría de Kutta and Jowkowski la acción de empuje que ejerce el agua, puede ser expresada por medio de la circulación alrededor de este.

$$P_z = \frac{\gamma}{g} b \cdot W_\infty \cdot \Gamma \tag{Ec. 10}$$

$$\Gamma = t(W_{u1} - W_{u2}) \tag{Ec. 11}$$

$$W_\infty = \frac{W_1 + W_2}{2} \tag{Ec. 12}$$

En el catálogo de la NACA con el valor del coeficiente c_l se selecciona el perfil NACA 1408 (Allen & Kofskey, 1995).

- $m/l = 0,01$
- $L/l = 0,4$
- $t/l = 0,08$
- $c_l = 1,2$
- $c_d = 0,012$

NACA 1408
(Stations and ordinates given in per cent of airfoil chord)

Upper surface		Lower surface	
Station	Ordinate	Station	Ordinate
0	0	0	0
1.189	1.324	1.311	- 1.200
2.418	1.862	2.582	- 1.620
4.896	2.602	5.104	- 2.134
7.386	3.138	7.614	- 2.458
9.883	3.558	10.117	- 2.682
14.889	4.171	15.111	- 2.953
19.904	4.574	20.096	- 3.074
24.926	4.819	25.074	- 3.101
29.950	4.939	30.050	- 3.063
40.000	4.869	40.000	- 2.869
50.020	4.502	49.980	- 2.556
60.034	3.931	59.966	- 2.153
70.041	3.193	69.959	- 1.693
80.039	2.305	79.961	- 1.193
90.027	1.271	89.973	- 0.659
95.016	0.698	94.984	- 0.378
100.000	0.034	100.000	- 0.034

L.E. radius: 0.70
Slope of radius through L.E.: 0.05

Fig. 5 Coordenadas NACA

G. Diseño de la carcasa y canal

La forma del canal y el espiral que antecede al distribuidor, debe tener la forma de un espiral, para que el agua llegue en forma lineal e inicie la formación del vórtice y alimente homogéneamente alrededor de todas las paletas del distribuidor. Esta espiral se asemeja en la carcasa de las turbinas y depende de la forma del rotor (Nava, 2013).

No es recomendable que el flujo del agua ingrese sin una dirección preestablecida, ya que tendrá cambios violentos de dirección, para eso en primer lugar se elige la velocidad de ingreso del agua, de experiencias se demuestra que los valores de ancho del canal al ingreso de la espiral (Martí, Serrano, & Inhestern, 2013).

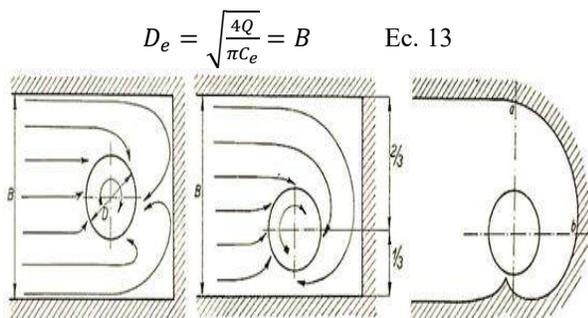


Fig. 6 Diseño de espiral del canal

Con el propósito de que se forme el vórtice de ingreso al distribuidor y de esta manera distribuir homogéneamente y

con dirección, el centro del rotor debe estar desplazado a 1/3 del ancho.

La forma de la carcasa obedece a una espiral y para su trazo se basa en un cuadrado cuyo lado se determina con la ecuación:

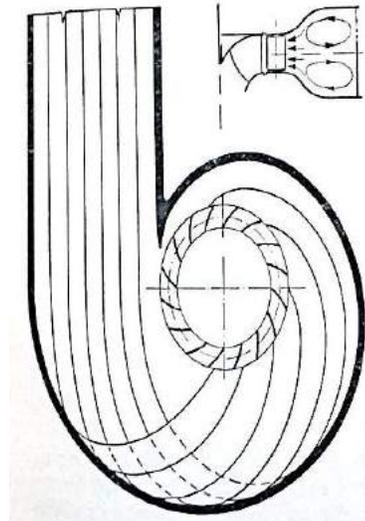


Fig. 7 Forma de la carcasa

$$a = (0,25 \dots 0,3) \frac{Q}{b} \cdot V_e \quad \text{Ec. 14}$$

H. Diseño del tubo difusor

El tubo de aspiración o difusor debe tener la forma de un tronco cónico, para desdoblarse la energía cinética y aprovechar el fenómeno de aspiración o succión, consecuencia del cambio de sección. Este efecto hace que se aproveche todo el fluido. Si no se controla la depresión en el tubo de succión, se puede producir la cavitación en los alabes del rotor (Rada & Quevedo, 1997)

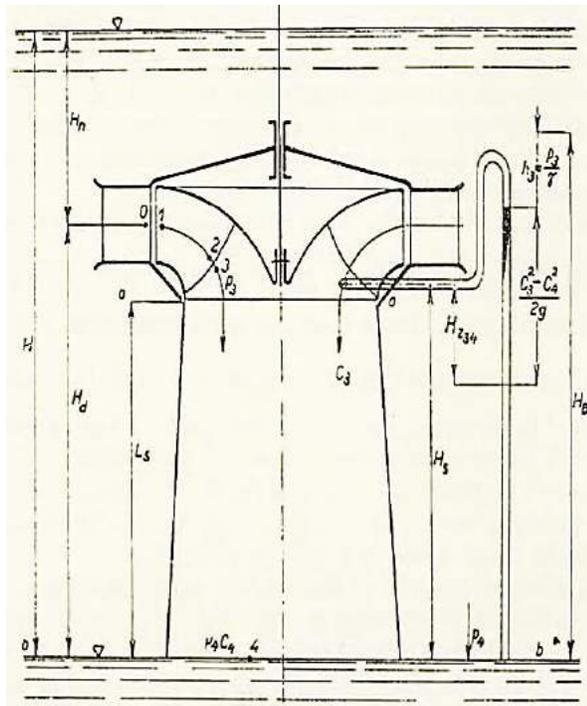


Fig. 8 Tubo difusor o de aspiración

$$\frac{\sqrt{F_4} - \sqrt{F_3}}{L} = \frac{1}{5} a \frac{1}{8}$$

F_3 = sección en el diámetro de salida de la turbina, es decir $D = 0,14$ m

$$F_3 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Cálculos teóricos de la turbina

Los cálculos realizados para el diseño de la turbina se detallan en la siguiente tabla.

TABLA II
PARÁMETROS DE LA TURBINA

Parámetros	Resultados
Potencia	150 w
Diámetro del rotor	140 mm
Diámetro del cubo	75 mm
Diámetro del eje	19 mm
Numero específico de revoluciones	646 rpm
Velocidad de la turbine	1800 rpm
Numero de alabes	3
Velocidad de flujo	1 m/s

Caudal	25 l/min
--------	----------

B. Cálculos teóricos para el perfil del alabe.

Los resultados calculados se realizaron con un salto neto de 1,2 m y un caudal de agua, 25 l/min, como se muestran en la siguiente tabla

TABLA III
ÁNGULOS DE ENTRADA Y SALIDA

Turbina parcial	Radio medio [m]	β_1 Grados	β_2 Grados	W_1 [m/s]	W_2 [m/s]
1	0,07	7,2	6,8	12,76	12,49
2	0,055	15,5	14,1	9,85	10,5
3	0,054	16	15	9,74	10
4	0,046	25,5	23,3	8,72	9,12

• Geometría del rotor



Fig. 9 Rotor de la turbina

V. CONCLUSIONES

La eficiencia de la turbina sufre cierta disminución, ya que al considerar las pérdidas mientras más pequeña es la turbina el rendimiento volumétrico, hidráulico y mecánico es menor por condiciones de holgura, acabado y fricción mecánica.

La construcción del perfil aerodinámico es la tarea más tediosa por cuanto el trabajo debe hacerse con mucha prolijidad para obtener un perfil con las características de diseño aerodinámico respetando los ángulos de diseño y obteniendo superficies suficientemente lisas para disminuir la incidencia de la rugosidad.

Para la instalación de este tipo de micro turbina es necesario utilizar una toma lateral con separador de partículas que vienen en suspensión para evitar el atascamiento del rotor.

Villacrés Gavidia, C. A. (2016). *Construcción y determinación de parámetros de funcionamiento de una turbina de flujo axial acoplada a una bomba de alta presión* (Bachelor's thesis Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, H., & Kofskey, M. (1995). *Visualization Study of Secondary Flows in Turbine Rotor Tip Regions*.
- Alvarez Gavina, L., Canales Reyes, N., Colorado, F., Contreras Juan, Díaz, A., & Hernandez, A. (2010). *Hidromecánica y energías alternas*.
- Beling, B. (2006). *Diseño Hidráulico y Simulación de Fluidos en una Turbina Francis de 340 MW para el Proyecto Hidroeléctrico Bakum*. Guayana, Venezuela.
- Díez, P. (1996). *Turbinas hidráulicas*. Cantabria, España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.
- Forget, A. (2011). *Manual para ayudar la comprensión del diseño de microcentrales hidroeléctricas aisladas*.
- García Perez, C. (2017). *Estudio de prospectiva sobre la evolución futura del sector aeronáutico a nivel mundial*.
- Gebhardt, C. (2011). *Aeroelasticidad de grandes turbinas eólicas de eje horizontal: un enfoque fundado en la dinámica de sistemas multicuerpo*.
- Marti, M., Serrano, R., & Inhestern, L. (2013). *Cálculo y análisis del flujo en una turbina de un turbogrupo operando en condiciones fuera de diseño*. Valencia: UPV.
- Nava, A. (2013). *Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas*.
- Rada, S., & Quevedo, C. (1997). *Flujo de paso bidimensional a través del tubo de aspiración de una turbina hidráulica*.
- Rodríguez Hernández, J., Gomez Del Pino, P., & Zanzi, C. (2016). *Máquinas hidráulicas*. UNED.
- Vidal Yeiber, E. (2010). *Optimización de turbinas hidráulicas con los multiplicadores de Lagrange*.

Estudio de las pérdidas de energía en conductores eléctricos mediante termografía infrarroja

Eduardo Hernández, Julio Cajamarca, Cristian Redrobán, Vanessa Valverde, Jaime Guilcapi.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, Ecuador.

eduseghe@hotmail.com, julioceduardo@hotmail.com, cristianredroban@gmail.com, vane.valverde.g@gmail.com, jguilcapi@hotmail.com.

Resumen

El objetivo de la presente investigación experimental es evidenciar las pérdidas de energías que se producen en los conductores eléctricos de los sectores industrial, comercial y residencial, y que generan un impacto económico. A través de la observación, deducción y verificación, se hizo una comparación de la pérdida de energía debido al efecto Joule por el paso de una corriente eléctrica en los conductores, con la pérdida de potencia real en un circuito en donde se modificó el calibre del conductor bajo una fuente electromotriz constante para obtener una serie de ecuaciones, capaces de estimar las pérdidas energéticas de una instalación eléctrica industrial o domiciliar a través de las mediciones de temperatura mediante el uso de la termografía infrarroja por ser un método de medición eficaz y que a la vez permite detectar otros problemas en las instalaciones eléctricas. Como se esperaba al disminuir la sección o al aumentar la longitud del conductor, se incrementó las pérdidas de energía; sin embargo, los valores obtenidos mediante medición directa fueron mayores a los predichos por el efecto de la resistividad.

Palabras Claves

Efecto Joule, pérdidas de energía en conductores, termografía infrarroja.

Abstract

The objective this experimental research arises from the need to demonstrate the power losses which are produced in the electric conductors in the industrial, commercial and residential sectors and the economic impact they generate. Thorough observation, deduction, and verification, a comparison of the energy loss due to the Joule effect by the flow of electric current in the conductors was made. For this purpose, the experiment was to work with a real power loss in a circuit where the caliber of the conductor was modified to estimate the energy loss in an electric, industrial or residential installation. The temperature was measured by using infrared thermography since it is a method to quantify effectiveness and detect other problems in the electric installations. As expected, once the section was decreased or the conductor size was increased, the power loss was also boosted. However, the values obtained through direct measurement were higher than the ones calculated by the resistivity effect.

Index Terms

Joule effect, energy losses in conductors, infrared thermography.

I. INTRODUCCIÓN

Las pérdidas energéticas, es un problema que se trata de erradicar constantemente en todos los países con la implementación de nuevas políticas sobre eficiencia energética. En este caso; en el Ecuador, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, se ha desarrollado un Plan Nacional de Eficiencia Energética que cubre el periodo comprendido entre el 2016 y 2035 (ARCONEL, 2017b). Su influencia ha logrado incluir el capítulo 13 en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11, 2011) que trata sobre la eficiencia energética en la construcción.

Por citar algunas causas, dentro de este código se habla sobre las exigencias técnicas en instalaciones y la eficiencia que debe de tener cada motor según su potencia, pero no se considera las pérdidas energéticas que se podrían llevar a cabo por la mala elección de los conductores.

Así mismo, dentro de la norma (NEC-10, 2011), se dan características generales sobre los conductores, para las instalaciones eléctricas, sin contemplar los aspectos relacionados con las pérdidas de energía en los mismos.

En la actualidad es muy conocido que en función de la relación longitud, sección y corriente eléctrica que circula por un conductor, se genera una pérdida de potencia que se disipa en forma de calor, (Fenómeno conocido como efecto Joule en honor a su descubridor el físico británico James Prescott Joule, (López, 2013; Serway & Jewett, 2009)) variando el valor real que debería tener el consumo de cualquier carga eléctrica, produciendo una ineficiencia y un consumo de energía innecesario, lo cual a su vez produce un costo adicional al usuario.

En este sentido, la mejor oportunidad de mejora que se ha detectado es en las líneas de transmisión que son de gran longitud y atraviesan a todo el país, es aquí donde se están concentrando esfuerzos para incrementar el diámetro de los conductores; no obstante, se está desestimando las oportunidades de mejora en las instalaciones de los utilizadores eléctricos.

Esta investigación se centra en dos aspectos, el primero es evidenciar que la pérdida energética por mala elección, del calibre, representa un valor importante en la facturación nacional, y el segundo consiste en elaborar un método para cuantificar estas pérdidas mediante termografía infrarroja, a través del análisis empírico de la relación entre las pérdidas de potencia y la temperatura de un conductor de diferentes calibres.

II. METODOLOGÍA

A. Fundamentos

El desarrollo de la presente investigación experimental de carácter deductiva, se fundamentó en el calor del efecto joule, que es la energía térmica consumida por una resistencia cuando circula por ella una corriente eléctrica (Serway & Jewett, 2009; Wilson, Buffa, & Lou, 2011). Este fundamento fue aplicado a los conductores eléctricos, mediante las siguientes deducciones matemáticas.

Primero, la potencia que se pierde en forma de calor debido a la resistencia interna de un conductor está dada por (Wilson et al., 2011):

$$P = R \cdot i^2 \quad (1)$$

Donde P es la potencia eléctrica que se convierte en calor en el conductor en Watts (W), R es la resistencia interna del conductor en ohmios (Ω) e i es la corriente eléctrica que circula por el conductor en Amperios (A).

Por otro lado, la resistencia interna del conductor está dada por (Serway & Jewett, 2009):

$$R = \frac{\rho \frac{l}{s} [1 + \alpha(T - T_0)][1 + \alpha'(T - T_0)]}{[1 + 2\alpha'(T - T_0)]} \quad (2)$$

Donde ρ es la resistividad del conductor en ohmios metros (Ωm), s es la sección del conductor en metros cuadrados (m^2), α es el coeficiente de temperatura de resistividad en grados centígrados a la menos uno ($^{\circ}C^{-1}$), α' es el coeficiente de expansión lineal en grados centígrados a la menos uno ($^{\circ}C^{-1}$), T es la temperatura del conductor en grados centígrados ($^{\circ}C$) y T_0 es la temperatura de referencia para los valores de α y α' correspondientes a $20^{\circ}C$.

El valor de las constantes empleadas en la Ec. 2 para el cobre se detallan en la Tabla I (Serway & Jewett, 2009; Young & Freedman, 2009).

Reemplazando la Ec. 2 en 1 se obtiene:

$$P = \frac{\rho \frac{l}{s} i^2 [1 + \alpha(T - T_0)][1 + \alpha'(T - T_0)]}{[1 + 2\alpha'(T - T_0)]} \quad (3)$$

Con la Ec. 3 se puede calcular la pérdida de potencia teórica de un conductor en un circuito eléctrico como el ilustrado en la Fig 1.

TABLA I
CONSTANTES PARA EL COBRE A 20 °C

Símbolo	Constante	Valor
ρ	Resistividad	$1,72 \times 10^{-8} \Omega m$
α	Coefficiente de temperatura de resistividad	$3,9 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
α'	Coefficiente de expansión lineal	$1,7 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Fuente: (Serway & Jewett, 2009; Young & Freedman, 2009)

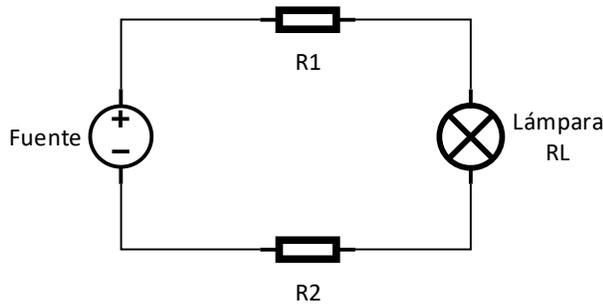


Fig. 1. Representación de la resistencia interna de un conductor en un circuito eléctrico.

La resistencia de la lámpara RL de la Fig. 1 representa a una carga eléctrica cualquiera, en tanto que R_1 y R_2 , son las resistencias internas de los conductores, estos tres elementos se encuentran en serie; por lo tanto, la corriente será la misma en cualquier punto y la fuerza electromotriz de la fuente es igual a la suma de las caídas de tensión en cada carga (López, 2013).

Como se puede ver en la Ec. 2, al disminuir la sección o al aumentar la longitud del conductor, su resistencia se incrementa, provocando una disminución de la intensidad; y por lo tanto, la potencia del circuito decrece; sin embargo, las caídas de tensión en R_1 y R_2 aumenta, provocando el incremento de la potencia en estas dos resistencias y el decremento de la potencia en la lámpara. Este fenómeno se aprecia de mejor manera en los datos de las Tablas II y III extraídos con una fuerza electromotriz de la fuente igual a 120V.

TABLA II
DATOS PARA UNA RESISTENCIA INTERNA DE 10 Ω

Cargas eléctricas	Resistencia (Ω)	Corriente eléctrica (A)	Caída de tensión (V)	Potencia (W)
RL	80	1,2	96	115,2
R1	10	1,2	12	14,4
R2	10	1,2	12	14,4
Total	100	1,2	120	144

Fuente: Datos de la investigación

TABLA III
DATOS PARA UNA RESISTENCIA INTERNA DE 20 Ω

Cargas eléctricas	Resistencia (Ω)	Corriente eléctrica (A)	Caída de tensión (V)	Potencia (W)
RL	80	1,0	80	80
R1	20	1,0	20	20
R2	20	1,0	20	20
Total	120	1,0	120	120

Fuente: Datos de la investigación

Evidentemente al disminuir la sección o al aumentar la longitud del conductor, se incrementan las pérdidas de energía.

Para facilidad de los análisis en este estudio, la Ec. 3 se dividió en dos factores correspondientes a la pérdida de potencia en el conductor debido a su resistividad y a la corrección por efecto de la temperatura; en donde, por un lado:

$$P_0 = \rho \frac{l}{S} i^2 \quad (4)$$

Donde P_0 es la pérdida de potencia por los conductores en función de su longitud, sección y corriente que circula por él.

El resto de las expresiones de la Ec. 3, corresponde a un factor de ajuste por temperatura (F_T).

$$F_T = \frac{[1 + \alpha(T - T_0)][1 + \alpha'(T - T_0)]}{[1 + 2\alpha'(T - T_0)]} \quad (5)$$

De ese modo se puede decir que la pérdida de la potencia en los conductores está dada por:

$$P = P_0 * F_T \quad (6)$$

B. Circuito eléctrico de prueba

Para la recopilación de datos, se utilizó un circuito eléctrico (Fig. 2) armado dentro de un tablero polimérico cerrado con tapa transparente, de tal manera que se creó un micro ambiente aislado de la convección del aire circundante del laboratorio y con la capacidad de visualizar fácilmente los elementos internos (Fig. 3).

Para replicar el efecto descrito con la Fig. 1, se conectó tres resistencias óhmicas de alta potencia (R_4, R_5 y R_6) dentro de una caja metálica con enfriamiento por flujo de aire externo producido por un soplador (Fig. 3). Los valores de estas resistencias fueron de 26,7 Ω , 29,7 Ω y 27,8 Ω respectivamente; las mismas que se conectaron en estrella (Fig. 2).

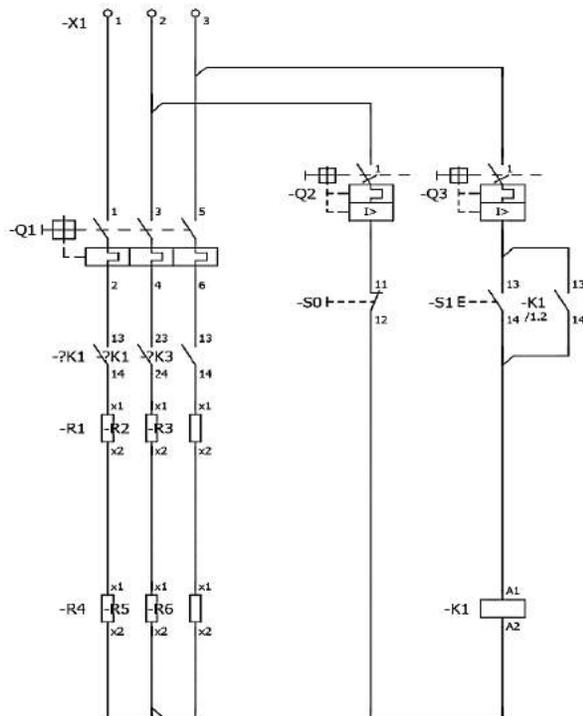


Fig. 2. Diagrama eléctrico de control y potencia del módulo de pruebas.



Fig. 3. Módulo de pruebas

La energía eléctrica con una fuerza electromotriz de línea de 120 V nominal fue suministrada por un tablero eléctrico en donde se encuentran los conductores de cobre para bobinado de diferentes longitudes (400 mm para la línea uno, 300 mm para la línea dos y 600 mm para la línea tres) y recubiertos con una capa de pintura de esmalte negro mate para minimizar la emisividad. Esta condición es necesaria para obtener mediciones de temperatura efectivas mediante termografía infrarroja con la cámara

termográfica Flir E5 que tiene una resolución 120×90 píxeles y un campo de visión de $45^\circ \times 34^\circ$.

Al tomar las mediciones de temperatura se debe verificar que los conductores eléctricos pueden presentar dentro de su influencia algunos modos de falla que generan incrementos de temperatura concentradas en un área reducida, (punto P1 de la Fig. 4), como por ejemplo contactos flojos o terminales corroídos; y que el paso de la corriente provoca el incremento de la temperatura en toda la longitud del conductor (área R_1 de la Fig. 4) (FLIR Systems, 2011).

Es por esto, que la técnica de termografía infrarroja es el método idóneo para realizar las mediciones de temperatura puesto que se podrá diferenciar con mucha facilidad si el incremento de temperatura se encuentra en un solo lugar del conductor o si la temperatura medida pertenece a la longitud del conductor.

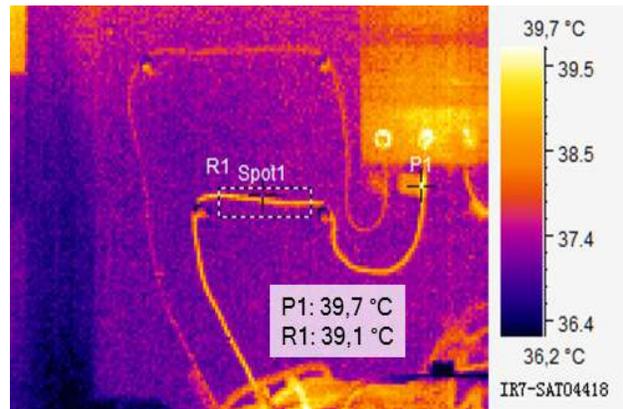


Fig. 4. Termograma de un conductor eléctrico

De existir incrementos de temperaturas puntuales, se debe corregir primero la causa de este efecto para poder confiar en la temperatura medida.

Las secciones de estos conductores fueron cambiadas en el rango correspondiente a los calibres del 16 al 34 (Tabla IV), cuya resistencia interna están representadas por R_1, R_1 y R_3 en el Diagrama eléctrico de control y potencia del módulo de pruebas (Fig. 2).

Para medir los parámetros eléctricos tanto en los conductores (R_1, R_1 y R_3) como en las cargas óhmicas (R_4, R_5 y R_6), se utilizó el analizador de la calidad de la energía Fluke 435 II con las pinzas amperimétricas Fluke i5s que tiene un rango de medición hasta 5 A.

Una vez instalados los conductores a ensayar, se energizó el circuito y se controló la temperatura de los conductores mediante una termocupla adherida a cada conductor. El propósito de esto fue saber el momento en que cada conductor (para cada caso) alcanzaba la temperatura máxima que es el instante en que la misma dejaba de incrementarse. Llegado a

este punto, se tomaron las mediciones con la cámara termográfica y el analizador de la calidad de la energía.

La energía fue observada durante dos a cinco minutos con intervalos de tres segundos, por lo que se tabuló cuarenta datos de los parámetros eléctricos por cada calibre.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El primer paso consiste en calcular la pérdida de potencia debido a la resistividad de los conductores ensayados mediante la Ec.4. Esta potencia corresponde a un valor teórico, mismo que más adelante será corregido por el efecto de la temperatura y comparado con las mediciones reales.

En la Tabla IV se indican los resultados correspondientes únicamente a la línea uno debido a la gran cantidad de datos.

TABLA IV
PÉRDIDA DE POTENCIA POR RESISTIVIDAD PARA L1

Calibre	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Intensidad (A)	P ₀ (W)	Δ Temp (°C)
16	400	1,36847776	4,67	0,11	7,10
17	400	0,98520346	4,66	0,15	7,90
18	400	0,78539816	4,67	0,19	7,65
19	400	0,63617251	4,66	0,24	8,00
20	400	0,50265482	4,65	0,30	8,40
21	400	0,39591921	4,65	0,38	9,40
23	400	0,24630086	4,67	0,61	12,35
24	400	0,19634954	4,67	0,76	12,65
25	400	0,15904313	4,69	0,95	13,85
26	400	0,12566371	4,68	1,20	11,55
27	400	0,0989798	4,73	1,56	19,35
28	400	0,07793113	4,68	1,93	24,45
29	400	0,06157522	4,69	2,46	23,90
30	400	0,04908739	4,76	3,17	33,25
31	400	0,03940814	4,76	3,95	33,80
33	400	0,0254469	4,61	5,76	60,95
34	400	0,02010619	4,48	6,88	62,70

Fuente: Datos de la investigación

Para calcular la pérdida de potencia real (ΔP) se estableció la diferencia entre la potencia activa medida al inicio del tablero (P1) y la potencia activa de las cargas óhmicas (P2).

En la Tabla V se observa que la pérdida de potencia debida a la resistividad difiere de la pérdida de potencia real; no obstante, se ha podido establecer su relación a través de la tasa de pérdida de potencia real (T_P), misma que se observa en la figura 5 y cuya línea de tendencia corresponde a la siguiente ecuación:

$$T_P = 0,004087 * P_0 \quad (7)$$

Como se observa, en esta ecuación se ha excluido el valor de la intersección de la línea de tendencia con el eje de las ordenadas, puesto que si la potencia debida a la resistividad es igual a cero (esto puede darse si la longitud del conductor o la corriente eléctrica son iguales a cero), no puede haber pérdida de potencia real.

Dado que:

$$T_P = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

$$T_P = \frac{P_1 * t - P_2 * t}{P_1 * t}$$

$$T_P = \frac{E_1 - E_2}{E_1}$$

$$T_P = T_E$$

Donde *t* es el tiempo, *E* es la energía y *T_E* es la tasa de pérdida de energía.

Se obtiene:

$$T_E = 0,004087 * P_0 \quad (8)$$

TABLA V
PÉRDIDA DE POTENCIA REAL

P ₀ (W)	P1 (W)	P2 (W)	ΔP (W)	T _P ΔP/P1
0,0073	532,3140	527,1268	5,1871	0,0097
0,0102	531,9701	530,4274	1,5427	0,0029
0,0127	531,9762	524,2767	7,6994	0,0145
0,0157	527,5049	523,1171	4,3878	0,0083
0,0198	527,7944	523,2732	4,5213	0,0086
0,0252	528,0098	519,7220	8,2878	0,0157
0,0401	522,9690	517,1571	5,8119	0,0111
0,0640	538,2683	533,0283	5,2400	0,0097
0,0806	537,3365	534,6634	2,6731	0,0050
0,1029	541,0500	536,3500	4,7000	0,0087

Fuente: Datos de la investigación

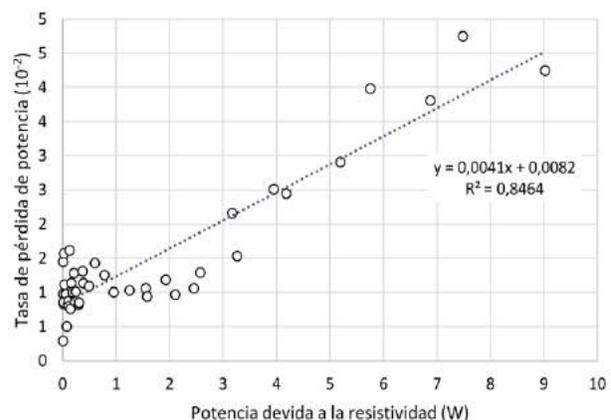


Fig. 5. Relación entre la tasa de pérdida de potencia (T_P) vs. la Potencia debida a la resistividad (P₀)

De manera análoga se deduce que la tasa de pérdida de potencia consumida es igual a la tasa de pérdida económica por cada unidad de pérdida debido a la resistividad:

$$T_P = T_{USD}$$

Por lo tanto:

$$T_{USD} = 0,004087 * P_0 \quad (9)$$

La Ec. 9 puede ocuparse en cualquier caso en que se desee estimar el costo de la pérdida energética en los conductores, al multiplicar T_{USD} por el valor facturado en la planilla en el periodo de análisis. Previo a esto debe calcularse P_0 con la Ec. 4, considerando que, si la instalación analizada tiene fase y neutro o dos fases, la longitud será el doble puesto que esas instalaciones poseen dos conductores.

Para estimar el impacto económico de las pérdidas en los conductores, se empleó la Ec. 9 con la facturación nacional por grupo de consumo indicada en la Tabla VI (ARCONEL, 2017a) obteniendo para el 2016 los valores mostrados en la Tabla VII, donde se observa que para una pérdida debido a la resistividad igual a uno, el costo de la pérdida energética en conductores total en el Ecuador para el 2016 sería de aproximadamente de 7,58 millones de dólares. Cifra importante, que podría reducirse analizando en cada caso el cambio de los conductores por unos de mayor calibre (debido a la mala elección de los mismos) siempre que se justifique económicamente.

TABLA VI
FACTURACIÓN NACIONAL POR GRUPO DE CONSUMO PARA EL 2016 (10⁶ USD)

Alumbrado Público	Comercial	Industrial	Otros	Residencial	Total
133,46	401,01	454,03	145,59	726,13	1855,07

Fuente: (ARCONEL, 2017)

TABLA VII
ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN CONDUCTORES PARA EL 2016 (10⁶ USD)

P_0 (W)	Alumbrado Público	Comercial	Industrial	Otros	Residencial	Total
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,55	1,64	1,86	0,60	2,97	7,58
2	1,09	3,28	3,71	1,19	5,94	15,16
3	1,64	4,92	5,57	1,79	8,90	22,75
4	2,18	6,56	7,42	2,38	11,87	30,33
5	2,73	8,20	9,28	2,98	14,84	37,91
6	3,27	9,83	11,13	3,57	17,81	45,49
7	3,82	11,47	12,99	4,17	20,78	53,08
8	4,36	13,11	14,85	4,76	23,74	60,66
9	4,91	14,75	16,70	5,36	26,71	68,24
10	5,46	16,39	18,56	5,95	29,68	75,82

Fuente: Datos de la investigación

Para relacionar la temperatura con las pérdidas energéticas, se basó en la Ec. 6, donde se puede observar que la pérdida de potencia es función de la potencia debida a la resistividad y de un factor de corrección por temperatura.

En concomitancia a esto, se analizó la variación de la pérdida de potencia relativa en función de la temperatura del conductor disminuido la temperatura ambiente por la tasa de pérdida de energía debida a la resistividad (Fig. 6). Esto es:

$$T_P = f(P_0 * (T - T_{ambiente}))$$

Con la pendiente de la línea de tendencia de la relación de la Fig. 6 es que 0,000058 y con la misma analogía empleada en el análisis de la relación expresada en la Fig. 5, se deduce que:

$$T_P = 0,000058 * P_0(T - T_{ambiente}) \quad (10)$$

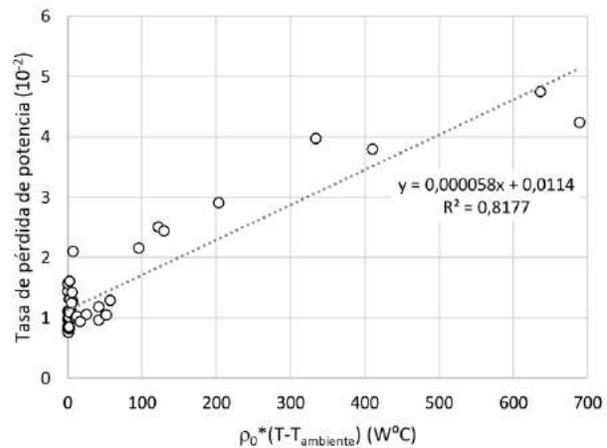


Fig. 6. Relación entre la tasa de pérdida de potencia (T_P) vs la Potencia debida a la resistividad (P_0) por la variación de temperatura con respecto a la ambiental

De la misma manera:

$$T_E = 0,000058 * P_0(T - T_{ambiente}) \quad (11)$$

Y también:

$$T_{USD} = 0,000058 * P_0(T - T_{ambiente}) \quad (12)$$

De esta forma las Ec. 10, 11, y 12 tiene la misma aplicación que las Ec. 7, 8 y 9, pero con corrección por temperatura siguiendo los criterios de la termografía infrarroja indicados en el apartado de Metodología; en donde los conductores se encontrarán a temperatura ambiente si no circula por ellos ninguna corriente eléctrica debido a la ley cero de la termodinámica que trata sobre el equilibrio térmico (Young & Freedman, 2009).

En las instalaciones eléctricas industriales, comerciales y residenciales se puede utilizar la Ec. 12 para estimar la pérdida económica anual por la mala selección del calibre de los conductores. Este valor debe compararse con el precio de la instalación de conductores de mayor sección y si este último es menor se aconseja emprender con el cambio. Con esto se entiende que no todo incremento de temperatura justifica el aumentar el calibre de los conductores si no solo en aquellos casos que se justifique económicamente, incluso en la normativa referente a la severidad como (NETA MTS, 2015) tiene parámetros de tolerancia, sin embargo, desde el primer grado de incremento de temperatura la norma dispone hacer una investigación sobre las causas.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que los efectos de pérdida de potencia debidos a la resistividad son menores a los que se puede registrar midiendo directamente en un circuito eléctrico. Esta diferencia crece a medida que se incrementa la temperatura.

La relación que existe entre la tasa de pérdida de energía y la pérdida de energía debida a la resistividad permite evidenciar a través de la Ec. 12 que las pérdidas de energéticas en los conductores eléctricos representan un cuantioso costo para el total de los usuarios.

Para mejorar la estimación de las pérdidas energéticas se puede incluir en las Ec. 7, 8 y 9 la diferencia de temperaturas entre la medida y la ambiental, dando lugar a nuevas ecuaciones con variables fácilmente medibles en ambientes industriales, comerciales y residenciales.

BIBLIOGRAFÍA

ARCONEL. (2017a). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016* (1ra ed). Quito-Ecuador.

ARCONEL. (2017b). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035* (1ra ed). Quito-Ecuador.

FLIR Systems. (2011). *Guía de termografía para mantenimiento predictivo*. Madrid.

López, V. (2013). *Teoría de circuitos y electrónica* (1ra ed). Madrid: UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

NEC-10. Norma Ecuatoriana de la Construcción - Instalaciones Eléctricas (2011). Quito-Ecuador.

NEC-11. Norma Ecuatoriana de la Construcción - Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador (2011). Quito-Ecuador.

NETA MTS. (2015). *Standart for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Equipment ans Systems*.

Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen 2* (7ma ed). México: Cengage Learning Editores.

Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2011). *Física 12* (1ra ed). México: Pearson Educación.

Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria. Volumen 1* (12 ed). México: Pearson Educación.

Inspección de parámetros de mantenimiento y operativos estandarizados de equipo caminero en el poliducto Cuenca-Pascuales

Stalin Nuela, Alex Tenicota, Angel Larrea, Carlos Guamán, Jaime Guilcapi.

Grupo de Investigación de mantenimiento.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, Ecuador.

stalin.nuela@esPOCH.edu.ec, alex.tenicota@esPOCH.edu.ec, dlarrea@esPOCH.edu.ec, carlos.guaman@esPOCH.edu.ec, jguilcapi@esPOCH.edu.ec

Resumen

El objetivo de este artículo fue describir los resultados de las inspecciones de parámetros de mantenimiento y operativos estandarizados de equipo caminero en el poliducto Cuenca - Pascuales, determinando los equipos que cumplen, o no los requisitos de funcionamiento para su operación en el poliducto y las fallas predominantes. Fueron analizados equipos camineros de 24 contratistas pertenecientes al poliducto Cuenca – Pascuales, y mediante instrumentos elaborados que velan por la estandarización de parámetros de funcionamiento eficiente y seguro (Estándares Internacionales, Catálogos, Especificaciones de Fabricantes y Reglamentos de Seguridad), se realizó la inspección de mantenimiento. La consistencia de los datos de la inspección fue determinada por el análisis factorial, se identificaron un porcentaje del 79% de equipos aceptados para su operación dentro del poliducto y un 21% de equipos rechazados para mantenimiento correctivo. Se determinó la predominancia de los problemas en los equipos camineros rechazados, teniendo a las fugas como factor determinante para su rechazo.

Palabras Claves

Equipo caminero, Inspección, Mantenimiento, Parámetros de funcionamiento, Poliducto.

Abstract

The objective of this article was to describe the results of standardized maintenance and operational parameters inspections of road equipment in the Cuenca-Pascuales poly pipeline, determining the equipment that meets or does not meet the operating requirements for its operation in the poly pipeline and faults predominant. Were analyzed teams of 24 contractors belonging to the Cuenca – Pascuales poly pipeline, and the maintenance inspection was carried out using elaborate instruments that ensure the standardization of parameters of efficient and safe operation (International Standards, Catalogs, Manufacturers Specifications and Safety Regulations). The consistency of the inspection data was determined by the factorial analysis, a percentage of 79% of the equipment accepted for its operation inside the poly pipeline and 21% of the equipment rejected for corrective maintenance were identified. It was determined the prevalence of problems in the road teams rejected, taking to the leaks as the determining factor for its rejection.

Keywords

Road equipment, Inspection, Maintenance, Operating parameters, Poly pipeline

INTRODUCCIÓN

“El suministro de combustibles derivados del petróleo para motores de combustión interna, en cantidades y especificaciones de calidad adecuada, es una actividad estratégica en países que poseen una economía dependiente de la explotación petrolera y forman parte de los instrumentos de políticas públicas” [Concha Demoya, A., Quiroga Cruz, H., & Benjumea Hernández, P. N. (2007)]. “Ecuador es un país dependiente de la explotación petrolera y posee diferentes líneas que abastecen más de cuatro productos derivados de petróleo a todos los sectores sociales y productivos, mediante poliductos ubicados estratégicamente e interconectados entre sí, los cuales deben garantizar elevados estándares de calidad” [Sarango Ríos, E. E. 2016].

“El Sistema de Gestión de Seguridad y Salud del Ministerio de Trabajo y Empleo ecuatoriano emite reglamentos que son dirigidos a todos los sectores como el de la Construcción y Obras Públicas, de modo que son implementados para la reglamentación de la seguridad y salud de los trabajadores en base a parámetros o requisitos mínimos” [Chacón, P. 2006]. Sin embargo, estudios reflejan que “hasta la actualidad existe incrementos en las notificaciones de accidentes e inconformidades funcionales en el sector manufacturero y petrolero debido a la falta de la implementación total de reglamentos” [Gómez García, A. R., Bermúdez, S., & Pablo, R. 2015]. En ese sentido se destaca que las normativas nacionales tienen limitaciones en cuanto al estudio descriptivo en detalle de los parámetros de funcionamiento de equipo e instalaciones.

“La calidad debe ser documentada de acuerdo al cumplimiento fehaciente de condiciones mínimas de funcionamiento de los equipos e infraestructuras, mediante auditorías o estrategias de inspecciones técnicas, acorde al campo en gasoductos y oleoductos” [Hurtado Palomino, M. P., & Vargas Bejarano, C. H. 1999]. Sin embargo, existen problemas registrados por causa de inadecuado o falta de mantenimiento dentro de los procesos de transportación de productos derivados de petróleo de empresas ecuatorianas y sus filiales, que muchas de las responsabilidades pertenecen a contratistas las cuales no registran cumplimiento de estándares internacionales experimentados para el estudio de parámetros de funcionamiento” [Almendariz, G., & Vinicio, J. 2004; Buchelli Carpio, L., & Garcia Granizo, V. 2015].

La inspección visual es un método de ensayos no destructivos típico de mantenimiento preventivo, que determina los parámetros del funcionamiento de los equipos mediante la detección de discontinuidades, las

cuales consisten en defectos (importantes para determinar el rechazo o reparación del objeto) e imperfecciones (tolerables hasta cierta medida). “Las discontinuidades en mención pueden provocar daños (cuando no comprometan las funciones) y fallas (cuando existen pérdidas de funciones) de modo que la calificación lo establecen los documentos técnicos normalizados” [Morcillo, G. 2011]. De acuerdo a los informes públicos de gestión de EP PETROECUADOR como empresa dedicada a la transportación de crudo y sus derivados de petróleo, cumple con estándares de construcción y diseño de normas establecidas por entes internacionales tales como el Instituto Americano del Petróleo API, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, entre otras.

Para el caso de estudio del equipo caminero dentro del contexto de transportación de derivados de petróleo, “los parámetros de funcionamiento efectivo, calidad y seguridad, son tomados en cuenta los criterios de normativas emitidas por entes internacionales como la Administración de Seguridad y Salud (OSHA), Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) entre otras” [Reese, C. D., & Eidson, J. V. 2006]. Sin embargo la mayoría de contratistas de poliductos importantes ecuatorianos como el Poliducto Cuenca – Pascuales, no han evidenciado resultados del fiel cumplimiento de normativas internacionales que consideren el estudio de parámetros de funcionamiento de sus equipos. Lo mencionado es característico de equipos de tipo caminero de manera que se identifiquen defectos e imperfecciones, y se valore en función de las posibles discontinuidades ocasionadas en sistemas y componentes importantes para mejorar los planes de mantenimiento de los llamados también equipos de operación de tierras. Por ello, para establecer los resultados significativos en una investigación al respecto será saber ¿Cuáles fueron los resultados de la inspección de parámetros de mantenimiento y operación de los equipos camineros en el poliducto Cuenca – Pascuales?, ¿Qué porcentaje de equipo fue rechazado para su operación?, ¿Cuáles fueron las fallas predominantes para el rechazo de los equipos?

El objetivo del presente artículo es describir los resultados de las inspecciones de parámetros de mantenimiento y operativos estandarizados de equipo caminero en el poliducto Cuenca-Pascuales, determinando los equipos que cumplen, o no los requisitos de funcionamiento para su operación en el poliducto. Para el cumplimiento del objetivo es necesario utilizar un instrumento que recopila diversos parámetros de funcionamiento de los equipos de tipo caminero, el cual debe poseer criterios estandarizados y experimentados en campo, y poderlos medir y valorar en el desarrollo de las

inspecciones visuales de mantenimiento a cada una de las empresas contratistas del poliducto. Luego es procedente inspeccionar de forma visual el equipo caminero usado en el poliducto en base al análisis de criterios de valoración, constituyen los resultados cualitativos multivariantes, que son definidos su consistencia para estar seguros que las inspecciones fueron realizadas de manera regular. Así mismo se debe identificar los equipos que han sido aceptados y rechazados para su operación en el Poliducto y posteriormente determinar la predominancia de los problemas en los equipos camineros que han sido rechazados.

La medición, estimación y valoración de los resultados del conjunto de inspecciones, será la base documental importante que identifique la incidencia de los defectos e imperfecciones en cada uno de los principales subsistemas de los equipos de tipo caminero. “La identificación de la incidencia de los defectos origina acciones de mejora para enfrentar posibles averías considerables o accidentes, con ello se optimizan actividades esenciales de mantenimiento correctivo, preventivo y mejorativo, de forma programada o no programada”. [Vinnem, J. E., Haugen, S., & Okoh, P. (2016); Daneshjo, N., & Kravec, M. 2015].

MÉTODOS Y MATERIALES

La investigación procedió bajo la siguiente lógica: a) desarrollo de las inspecciones mediante el instrumento elaborado y aprobado por la Certificadora Cotecna Ecuador SA, b) Selección de equipo caminero con mayor índice de rechazo para su operación dentro del Poliducto, c) Determinación de la predominancia de los fallos en el equipo rechazado.

Para el desarrollo de las inspecciones fue utilizado el instrumento documental elaborado como lista de cotejo o chequeo con veinte y cinco (25) preguntas; nueve (9) de carácter informativo tipo abierta y catorce (14) cerradas útiles para la evaluación de los parámetros de funcionamiento de los equipos de tipo caminero. Los parámetros de funcionamiento seleccionados fueron; el estado de la señalética, protección mínima de seguridad, nivel de presión, nivel de batería, rastro de fuga de aceites, estado de neumáticos y orugas, deformación y corrosión en sistemas y componentes.

Los criterios seleccionados de aceptación o rechazo según el cumplimiento de requisitos mínimos de funcionamiento fueron reglamentados por las normas internacionales “ASME B30.5:2014 (estándar de grúas ferroviarias y móviles)”, [American Society of Mechanical Engineers International. 2014.], “ASME B30.22:2010 (estándar de grúas articuladas)”, y criterio del fabricante

CATERPILLAR (manuales técnicos de inspección de seguridad y mantenimiento) mediante la revisión in situ de temas de seguridad y señaléticas fueron adoptados del Reglamento de seguridad para la construcción y obras públicas de Ecuador emitido en el 2007, “OSHAS 1926.602 (estándar de equipo de manejo de materiales)” [Cortés, J. M., & Díaz, J. M. C. 2007], y ASME B56.1:2010 (estándar de seguridad para camiones de baja y alta elevación). El procedimiento empleado para la inspección se detalla en la figura 1., y el proceso secuencial de medición de defectos en sistemas y componentes de equipo caminero mediante inspección visual de mantenimiento se detalla en la figura 2.

Para la selección de los equipos usados en la construcción de tipo caminero fueron considerados (excavadoras, retroexcavadoras, tractores, rodillos compactadores, motoniveladoras, mini cargadoras, volquetes, grúas móviles, y grúas de brazo articulado), pertenecientes a veinte y cuatro (24) empresas contratistas del proyecto poliducto Cuenca – Pascuales entre el 18 de febrero y el 14 de mayo de 2015. La inspección fue de tipo periódica de al menos una vez al año, de modo que en mucho de los casos coincidió con las inspecciones frecuentes diarias bajo la responsabilidad del operador del equipo. El recorrido de la inspección fue en la trayectoria de alimentación del poliducto en donde se conectan las localidades y cantones de Pascuales, Milagro y el triunfo de la provincia del Guayas, luego La Troncal, Zhud, Cañar, Azogues de la provincia de Cañar y terminó en Cuenca de la provincia de Azuay.

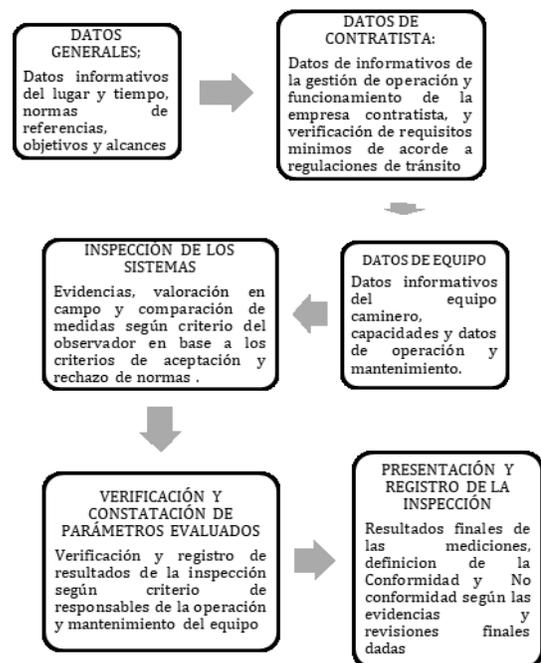


Figura 1: Secuencia del desarrollo de la inspección visual de mantenimiento en equipo caminero. Elaborador por: Autores

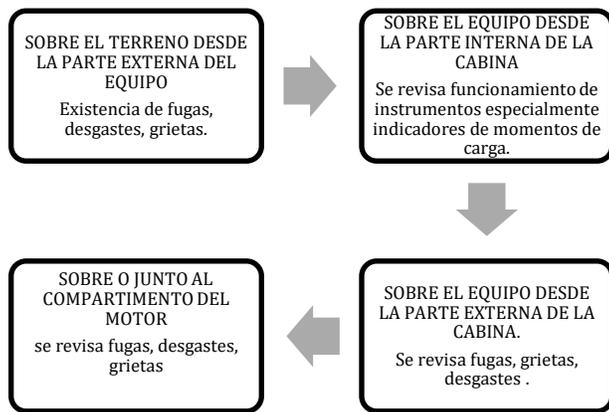


Figura 2: Proceso secuencial de medición de defectos en sistemas y componentes de equipo caminero mediante inspección visual de mantenimiento.

Elaborado por: Autores

Los sistemas inspeccionados en los equipos camineros fueron sistemas de transmisión, motor de combustión interna, sistema estructural y sistema hidráulico. Las evidencias obtenidas en la inspección visual fueron valoradas de forma cualitativa, las mismas que definieron el cumplimiento o no de requisitos de funcionalidad reflejados en la detección de defectos e imperfecciones tales como: grietas, deformaciones, fugas de aceite, corrosión, fallos en señalética de mandos, entre otros. Para medir la consistencia de los datos obtenidos en la inspección se utilizó el análisis factorial que generaron los factores que capturan y exhiban el comportamiento global de la maquinaria según contratista. En ese sentido fueron seleccionadas las componentes cuya varianza (valor propio) o inercia asociada a cada componente, exceda la media de las raíces características. Por tanto, se debe verificar que se cumpla la siguiente relación:

$$\lambda_h > \bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{p}$$

En la relación expuesta si las variables originales están tipificadas, $\sum_{j=1}^p \lambda_j = p$ eso denota que la media de la inercia es igual a 1. Se retendrán los factores cuya inercia sea mayor que 1, según [Pérez, C. 2005].

Para la verificación y constatación de parámetros evaluados de la inspección, fue necesario contar con la participación del personal de operación, mantenimiento, del equipo, y el inspector. Como resultado se obtuvo un total de 171 equipos aceptados y 45 equipos rechazados debido a los problemas mencionados. En la última etapa del desarrollo de la inspección, fueron presentados los resultados aprobados para la realización de informes por cada contratista, en donde se definieron los resultados cuantitativos de un universo total de forma estadística tendencial.

Para la determinación de los fallos predominantes en los sistemas de los equipos camineros en estudio, fue realizado el análisis mediante la “metodología de Pareto llamada también 80 – 20, en base a los aportes de Borjas, 2005; Midor, 2014, la misma que trata de buscar el 20% de los casos que más influyen o quienes provocan el 80% de las fallas” [Borjas, C. M. B. 2005]. El procedimiento que fue desarrollado, empezó con la determinación de los casos de fallas más frecuentes en sistemas, con la definición del periodo, y la cantidad de fallos. Luego fue construida la tabla estadística con las magnitudes de las fallas por sistemas y fueron resumidos por clases mediante la clasificación de los fallos por incidencia, sea A (fallos más importantes), B (fallos de importancia media), C (fallos menos importantes). Para determinar la clase de los casos de fallos en la tabla estadística fueron asignados los porcentajes para cada uno, siendo que por el 20%; la clase A fuera 20%, clase B entre el 30 y 40 % y clase C entre el 50 y 40 % de los casos de fallos en los sistemas. Del mismo modo, por el 80 %, serán clase A el 80%, clase B el 15% y clase C el 5% de los casos de fallos en los sistemas de estudio. Finalmente se graficó el diagrama de Pareto, cual histograma que permitió caracterizar los casos de estudio para poder analizar la estrategia y acciones dirigidas a la clase A, y pueda reducir mediante la planificación de actividades de mantenimiento u optimización de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la inspección visual de operación y mantenimiento se obtuvieron datos que permitieron identificar al equipo caminero que participó en la construcción del Poliducto Cuenca – Pascuales.

Tabla I: Varianza total explicada del cuestionario
Varianza total explicada, Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2.342	19.519	19.519	2.342	19.519	19.519	2.106	17.547	17.547
2	1.733	14.446	33.965	1.733	14.446	33.965	1.756	14.636	32.184
3	1.242	10.349	44.313	1.242	10.349	44.313	1.322	11.014	43.197
4	1.118	9.319	53.632	1.118	9.319	53.632	1.191	9.923	53.121
5	1.056	8.802	62.434	1.056	8.802	62.434	1.118	9.313	62.434
6	.935	7.793	70.226						
7	.810	6.752	76.979						
8	.778	6.483	83.461						
9	.738	6.146	89.607						
10	.569	4.745	94.352						
11	.455	3.792	98.144						
12	.223	1.856	100.000						

La consistencia de los datos fue obtenida en el desarrollo de la inspección, y para ello, “se analizó la estructura de la escala (validez de constructo) de todos los datos tomados mediante el análisis factorial con el método de componentes principales y rotación varimax” [Jimenez, V. y Ramos, A. 2007.], el mismo que explica el 62,43% de la varianza de la ficha de seguimiento con sus 5 primeros factores, ver Tabla I. Los valores presentados superan el valor de 1, y al tomar como umbral de correlación el valor de 0.5, se ha procedido a agrupar las variables con los factores, los resultados se observan en la tabla II. En todas las variables, los valores de las comunalidades son superiores a 0.4, motivo por el cual se mantiene todas las variables cuyo valor sea superior a este.

Tabla II: Varianza total explicada del cuestionario
Matriz de componentes*, Método de extracción: Análisis de componentes principales

	Componente				
	1	2	3	4	5
CONTRATISTA	.248	-.489	-.364	-.040	-.214
Equipo	-.224	.663	-.234	.311	-.155
Lugar	-.135	-.189	.716	-.286	.286
Capacidad (Toneladas métricas, Longitud metros, volumen metros cúbicos, LUMENES, HP)	.434	-.584	-.145	.191	.143
Marca	.018	-.479	.402	.324	-.023
Satisfactoria	.823	.297	.185	.007	.041
Estructura (deformación, grieta, corrosión, bien)	.521	.203	.234	-.056	-.252
Mandos (fuga, fallo, señalética, bien)	.558	-.278	-.125	.261	-.291
SISTEMA DE ELEVACION (fugas, daños, bien)	.762	.210	.043	-.066	.218
Sist. Transmisión (fugas, daños, bien)	.179	.384	.381	.384	-.218
Sist. Eléctrico (batería, cables, conexiones, bien)	.177	.158	-.260	.296	.798
Motor (fugas, daños, bien)	.346	.159	-.199	-.697	-.036

5 componentes extraídos

El factor 1 explica el 17,55% de la varianza total del instrumento documental de la inspección. Está compuesta por 5 preguntas. Las preguntas que tiene mayor peso son Satisfactoria en el sistema de elevación “fugas, daños,

bien”, que hacen referencia a la satisfacción en el funcionamiento de la maquinaria, y referente a las posibles imperfecciones.

El factor 2 explica el 32,18% de la varianza total del cuestionario. Está compuesto por 3 preguntas. La pregunta con mayor peso es la maquinaria que utiliza “equipo”, misma que hace referencia a la marca y capacidad de la maquinaria como fuente que identifica al contratista en el uso de marca posesionada en el mercado que utiliza para desarrollar las actividades de la obra.

El factor 3 explica el 43,20 % de la varianza total del cuestionario. Está compuesto por 2 preguntas. Las preguntas que tienen mayor peso en este factor el “1er Lugar”, que hacen referencia al acceso al campo y facilidades del mismo que tienen la maquinaria según marca.

El factor 4 explica el 62,42 % de la varianza total del cuestionario. Está compuesto por 1 pregunta, a las bondades del motor y las posibles falencias de este en campo.

El factor 5 explica el 52,12 % de la varianza total del cuestionario. Está compuesto por 1 pregunta, hace referencia al funcionamiento de la maquinaria en el sentido eléctrico.

De la inspección y toma de datos se pudo determinar que de 216 equipos, el 79% (173 equipos) fueron aceptados y aprobados para continuar con su trabajo dentro del Poliducto, mientras que el 21% (45 equipos) fueron rechazados y negada su participación hasta que se ejecute el mantenimiento correctivo de las anomalías encontradas como se muestra en la tabla III.

Tabla III
CANTIDAD DE EQUIPOS POR MARCAS

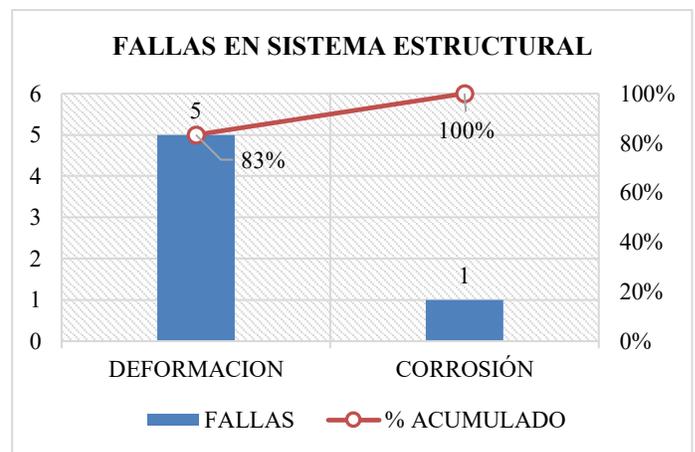
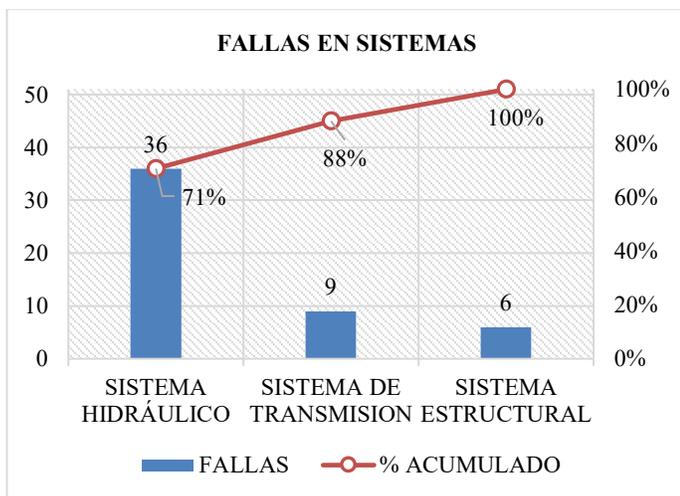
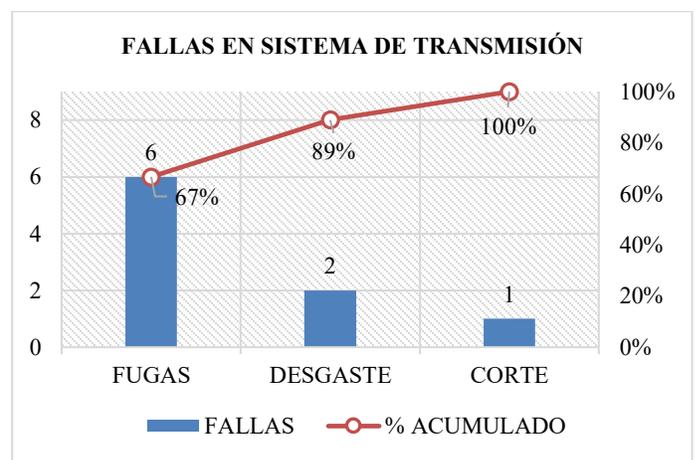
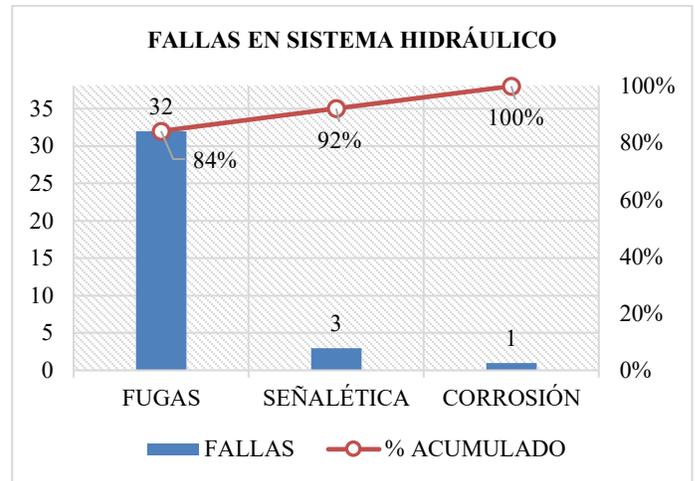
CONTRATISTA	EQUIPOS ACEPTADOS	PORCENTAJE DE ACEPTADOS	EQUIPOS RECHAZADOS	PORCENTAJE DE RECHAZADOS
ATLAS	1	0,6%	0	0,0%
CABETIG	0	0,0%	1	2,2%
CIUDAD RODRIGO	18	10,5%	5	11,1%
CONSUELO CHUQUIMARCA	1	0,6%	0	0,0%
ECOHORMIGONES	1	0,6%	0	0,0%
EQUITRANSA	105	61,4%	22	48,9%
ESCOING	11	6,4%	5	11,1%
GLADYS	2	1,2%	0	0,0%
HORMIGA NEGRA	2	1,2%	2	4,4%
HT	1	0,6%	0	0,0%
IIASA	1	0,6%	0	0,0%
JORGE ZAMORA	0	0,0%	1	2,2%

MAQUISUP	9	5,3%	4	8,9%
MARCO ROSAS	2	1,2%	0	0,0%
MARTHA AREVALO	1	0,6%	0	0,0%
MARCO AREVALO	3	1,8%	0	0,0%
MEGARENT	2	1,2%	2	4,4%
MULTIQUIP	1	0,6%	0	0,0%
NESTOR TITUAÑA	1	0,6%	0	0,0%
PEDRO	1	0,6%	0	0,0%
POELSER	1	0,6%	0	0,0%
RENAN PRUNA	1	0,6%	0	0,0%
RIGOBERTO SIGUENCIA	4	2,3%	0	0,0%
YANDUN	2	1,2%	3	6,7%
TOTAL	171	100,0%	45	100,0%

De los 45 equipos rechazados y un análisis por sistema para identificar la predominancia de fallos, se obtuvo resultados presentados en la tabla IV:

Tabla IV
FALLOS EN SISTEMAS

SISTEMAS	CONDICIONES DE RECHAZO						TOTAL
	FUGAS	DEFORMACIÓN	SEÑALÉTICA	CORROSIÓN	DESGASTE	CORTE	
SISTEMA HIDRÁULICO	32		3	1			36
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	6				2	1	9
SISTEMA ESTRUCTURAL		5		1			6
TOTAL	38	5	3	2	2	1	51



Mediante los datos tomados de las inspecciones y el Diagrama de Pareto, se pudo determinar, cuáles fueron las causas principales por las cuales los sistemas inspeccionados fallaron y fueron rechazados, dando como resultado las siguientes gráficas:

Como resultado el equipo con mayor índice de rechazo fue la excavadora con un 26,7% debido a problemas de fugas, y el camión Grúa con un 20% con deformación, fugas y señaléticas como fallas predominantes.

EQUIPO INSPECCIONADOS	PORCENTAJE RECHAZADOS
CAMA ALTA	0,0%
PIPE CARRIER	0,0%
CAMA BAJA	0,0%
CONCRETERA MIXER	0,0%
TANQ. COMBUSTIBLE	0,0%
MOTONIVELADORA	0,0%
TANQUERO AGUA	0,0%
CAMION	2,2%
GRUA MÓVIL	4,4%
RODILLO	4,4%
MINICARGADORA	6,7%
TRACTOR	6,7%
VOLQUETA	11,1%
RETROEXCAVADORA	17,8%
CAMION GRUA	20,0%
EXCAVADORA	26,7%

CONCLUSIONES

Mediante la inspección de mantenimiento se evidenció que los problemas de fugas en los equipos camineros evaluados, en el poliducto Cuenca – Pascuales, fueron predominantes para no cumplir los requisitos de funcionalidad establecidos en el instrumento de inspección empleado.

Se reflejó la prevalencia de problemas en excavadoras con un 26,7% de equipos rechazados debido a problemas de fugas en sus componentes.

REFERENCIAS

[1] Concha Demoya, A., Quiroga Cruz, H., & Benjumea Hernández, P. N. (2007). Modelamiento de la propagación de los frentes de contaminación generados por el transporte de combustibles por poliducto. *Dyna*, 74(152).

. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/html/496/49615209/>

[2] Mendoza, M. Á. (2014). Panorama preliminar de los subsidios y los impuestos a las gasolinas y diésel en los países de América Latina.. Disponible en:
<http://200.9.3.98/handle/11362/37431>

[3] Urquidi, V. L. (2016). *Otro siglo perdido: Las políticas de desarrollo en América Latina (1930-2005)*. Fondo de Cultura Económica.

[4] Sarango Ríos, E. E. (2016). *Plan de vigilancia de la salud para trabajadores expuestos a hidrocarburos aromáticos del Terminal Pascuales, EP Petroecuador* (Master's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, Maestría en Seguridad, Higiene Industrial y Salud Ocupacional).

[5] Jàcome, R. E. M. (2017). El mantenimiento proactivo en equipos mecánicos de transporte de hidrocarburos en Ecuador. *Revista Científica Ciencia y tecnología*, 2(14).

[6] Chacón, P. (2006). *República del Ecuador Diagnóstico del Sistema Nacional de Seguridad y salud en el Trabajo* (No. 994877573402676). International Labour Organization. Disponible en:
<https://ideas.repec.org/p/ilo/ilowps/994877573402676.html>

[7] Gómez García, A. R., Bermúdez, S., & Pablo, R. (2015). Incidencia de accidentes de trabajo declarados en Ecuador en el período 2011-2012. *Ciencia & trabajo*, 17(52), 49-53. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492015000100010>

[8] Hurtado Palomino, M. P., & Vargas Bejarano, C. H. (1999). Metodología para auditoría ambiental de cumplimiento en gasoductos y oleoductos. *Ingeniería e Investigación*.

[9] Almendariz, G., & Vinicio, J. (2004). *Análisis del cumplimiento a la Normativa Ambiental para actividades hidrocarburíferas de Petroecuador y sus filiales* (Master's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

[10] Buchelli Carpio, L., & Garcia Granizo, V. (2015). Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite.

[11] Reese, C. D., & Eidson, J. V. (2006). *Handbook of OSHA construction safety and health*. CRC Press.

[12] Morcillo, G. (2011). Inspección visual. Niveles II y III. FC Editorial.

[13] Vinnem, J. E., Haugen, S., & Okoh, P. (2016). Maintenance of petroleum process plant systems as a source of major accidents?. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 348-356.

[14] Daneshjo, N., & Kravec, M. (2015, October). System states and requirements of reactive maintenance. In *Production Management and Engineering Sciences: Proceedings of the International Conference on Engineering Science and Production Management (ESPM 2015), Tatranská Štrba, High Tatras Mountains, Slovak Republic, 16th-17th April 2015* (p. 365). CRC Press.

[15] American Society of Mechanical Engineers International. (2014). Mobile and Locomotive Cranes ASME B30.5 STANDARD. Disponible en: https://www.techstreet.com/standards/asme-b30-5-2014?product_id=1888247

[16] American Society of Mechanical Engineers International. (2010). Articulating Boom Cranes. ASME B30.22 STANDARD. Disponible en: https://www.techstreet.com/standards/asme-b30-22-2010?product_id=1769868

[17] Cortés, J. M., & Díaz, J. M. C. (2007). *Técnicas de prevención de riesgos laborales: seguridad e higiene del trabajo*. Editorial Tebar.

[18] Borjas, C. M. B. (2005). Ley de Pareto aplicada a la Fiabilidad. *Ingeniería mecánica*, 8(3), 1-9.

[19] Jimenez, V. y Ramos, A. (2007). *Técnicas de Análisis Multivariante*. Fotocopiadora Campus.

[20] Pérez, C. (2005). *Técnicas Estadísticas con SPSS 12. Aplicaciones al Análisis de Datos*. Madrid. Editorial Pearson Prentice Hall.

Diseño e implementación de un brazo robótico industrial con 5 grados de libertad guiado por Kinect

Alex Fernando Ricaurte Segovia ^a, Israel Rigoberto Minda Valverde ^b, Javier Gavilanes Carrión ^c

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

^a alexfer18@gmail.com; ^b israelsumi@gmail.com; ^c javier.gavilanes@esPOCH.edu.ec

Resumen: El objetivo del presente proyecto fue diseñar e implementar un brazo robótico industrial con 5 grados de libertad guiado por Kinect, el mismo fue construido en un 90% con metal (hierro) para darle mayor resistencia y estabilidad, para el movimiento del robot se implementaron 3 motores DC de 2.1HP ubicados en las primeras 3 articulaciones debido al torque que se necesita en esta parte del brazo, en estos motores se colocaron sensores en sus ejes (encoders) para poder controlarlos con mayor precisión, y dos servomotores de 4.1 kg.cm en la parte final, dándole 5 grados de libertad al brazo robótico. Se utilizó como sensor encargado de guiar el prototipo, una cámara Kinect que permitió obtener una imagen tridimensional para calcular la profundidad con respecto a los objetos que la rodean, la misma que envía las imágenes al procesador Raspberry Pi 3, que fue programado para la realización del tracking de objetos a través de Python para obtener la posición del objeto donde llegara el actuador final en los tres ejes X, Y, Z. En el diseño se comprueba que el brazo robótico tiene una precisión del 90%. Después de la implementación del brazo mecánico se concluye que es necesario un sistema de iluminación adecuado para obtener resultados con un nivel de fiabilidad justo. Se recomienda tener como medida de seguridad finales de carrera ubicados estratégicamente para brindar protección a la estructura y al operador en caso de alguna falla del sistema.

Palabras Clave: Brazo robótico, Robótica, Sensor Kinect, Visión Artificial, Manipuladores.

Abstract: The main purpose of this project was to design and implement an industrial robot arm with 5 degrees of freedom guided by Kinect. This robot arm was constructed in a 90% with metal (iron) to give it greater resistance and stability while for its movement three DC motors of 2.1 HP were implemented, and they were located in the first three joints due to the torque that is needed in this part of the arm. In the axes of these three motors, sensors (encoders) were placed to be able to control them with more precision, and two servomotors of 4.1 kg. cm at the end, giving the robotic arm 5 degrees of freedom. A Kinect camera was used as a sensor to guide the prototype, this, made possible to get a three-dimensional image to calculate the depth with respect to the objects that surround it. The camera sends the images to the processor Raspberry Pi 3, which was programmed for the realization of the tracking of objects through Python to determine the position of the object where the final actuator will arrive in the three axes X, Y, Z.

This design demonstrates that the robotic arm has an accuracy of 90%. After the implementation of the mechanical arm, it is concluded that a suitable lighting system is necessary in order to get outcomes with an appropriate level of reliability. It is recommended as a security measure; to have end-of-strokes strategically placed to provide structure and operator protection in case of a system failure.

KeyWords: Robotic arm, Robotics, Kinect Sensor, Computer Vision

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología ha venido acogiendo los distintos campos de la vida cotidiana del ser humano. Desde el hogar hasta la industria, pasando por los sistemas de control, de seguridad y de procesos. Sin duda es el industrial el que más progreso y dinero produce por lo que la necesidad de nuevas ideas es imperativa.

En este contexto la visión artificial ha venido a agolpar un gran punto de apoyo sobre los controles industriales y llegando a convertirse en los ojos del nuevo futuro que cada vez está más cerca. Pero no puede funcionar por su propia cuenta, en cuanto al controlador principal, y en la actualidad no se requiere ocupar grandes espacios con computadoras portátiles o de mesas, por lo que se ha elegido la placa revolucionaria Raspberry Pi.

Un microcomputador de costo muy modesto que salió al mercado en el año 2011 y que ha venido actualizándose automáticamente. Aunque en un principio se veía como una plataforma de prueba, dirigida a los estudiantes, actualmente sus recursos se han convertido en verdaderas fuentes de soluciones reales y aplicativas.

La Robótica también forma parte de este proyecto que une sus recursos a la visión artificial y en este caso le da una realidad al tracking de objetos, en donde la primera intención es reconocer un objeto y luego alcanzarlo. Por su valor potencial las aplicaciones han sido dirigidas al campo industrial. Y el presente proyecto también tiene esa misma base de operación.

2. CONTENIDO

La visión artificial es una de las ramas de las ciencias que estudian la inteligencia artificial. La V.A, modela las fases de percepción de la imagen, crea programas que puedan reproducirlos a través de un computador, su versatilidad puede apoyar el desarrollo de varios campos y aplicaciones como reconocimiento de caracteres, interpretación de imágenes y escenas, robótica, medicina, etc. Este prototipo usa los conocimientos de robótica y a su vez la robótica industrial, y se descubre que al ser implementados con Kinect puede cumplir la función de identificación, localización y detección adecuada de objetos. Siendo multifuncional y práctico de modo que establezca una interacción adecuada con el ambiente de trabajo.

2.1. Imagen Digital

Una imagen digital está formada por una retícula rectangular, esta a su vez está formada por celdas, que son la menor unidad en color de una imagen digital. A la mencionada celda se le conoce con el nombre de pixel. Cada pixel está formado por tres subpixeles: rojo, verde y

azul; cada uno con diferente intensidad de brillo (Enrique Benimeli, 2011, p.1).

La resolución de una imagen digital es la cantidad de pixeles por pulgada. A una mayor resolución se obtendrá una información digital más detallada de la imagen.

2.2. Procesamiento inteligente de imágenes

El sistema de procesamiento de imágenes se ejecuta en un minicomputador Raspberry Pi 3. Para el desarrollo de software del prototipo inteligente se usa Python y librerías de OpenCv,

El procesamiento de imágenes consta de dos partes el reconocimiento facial e identificación de colores y formas de objetos 2D. La primera fase comprende de un algoritmo de umbralización, mientras que la segunda emplea técnicas de visión artificial, en consideración a las características de software empleado.

2.2.1. Etapas de un sistema de Visión Artificial

Un sistema de Visión Artificial necesita de un conjunto de procesos ordenados sistemáticamente; los mismos que están destinados a procesar las características de una escena u objeto, para que posteriormente en conjunto con sensores, actuadores; se pueda cumplir con el objetivo específico del sistema (Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial, 2006, p 15).

Las etapas de un sistema de Visión Artificial son:

- Etapa Sensorial.
- Etapa de pre-procesado.
- Etapa de segmentación.
- Etapa de parametrización.
- Etapa de clasificación.
- Etapa de actuación según resultados.

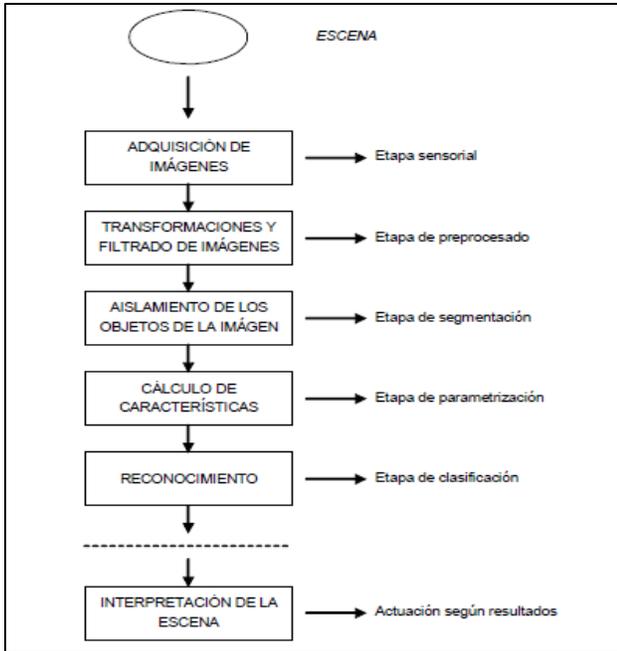


Figura 1: Etapas de un sistema de visión

Fuente: Técnica y Algoritmos Básicos de Visión Artificial

Un sistema de Visión Artificial debe seguir un conjunto de procesos consecutivos. En primer lugar, se adquiere la imagen o escena a través de la cámara. Luego la imagen capturada es procesada; aquí se obtiene una información más precisa al eliminar ruido en la misma. En estas dos primeras etapas se realiza un tratamiento y análisis de la imagen más simple y global.

Posteriormente se realiza la segmentación de la imagen; aquí se separa en regiones u objetos de ser el caso. Luego de tener la escena separada por regiones se analiza los objetos característicos como el color, la textura, la forma, el diámetro, el área; etc.

En estas etapas se le da un tratamiento a la imagen más personalizado de las regiones que la conforman.

OpenCv incluye clasificadores pre-entrenados, como haar cascade y eyes cascade, los cuales se descargan como archivo XML. Además del algoritmo eignefaces para extraer los rasgos fáciles. Lo cual simplifica el trabajo.

2.2.2. Tracking de objetos (seguimientos de objetos)

El tracking de objetos o seguimiento de objetos, es un proceso que permite en determinando tiempo obtener la ubicación de uno o de varios objetos móviles, este proceso se realiza mediante el uso de una cámara, que a su vez tiende a tardar un poco debido a la cantidad de información que tiene un video, conjuntamente con las técnicas de

reconocimiento, siendo determinante en este procedimiento se aumenta su complejidad.

La cámara determina la ubicación del objeto y la estructura a través de píxeles, obteniendo la posición y la el tamaño de objeto en tiempo real, de esta forma se disponen a calcular su movimiento, considerando la compleja relación que tiene la proyección de la figura con el objeto, sin embargo, no tiene solo dependencia del moviendo del objeto, también influyen otros factores, esto conlleva a que su desplazamiento se convierta en una tarea un tanto complicada.

2.2.3. Método de umbralización.

El método de umbralización es considerado como uno de los más principales, su propósito es transformar una imagen de una escala de gris a otra con solo dos niveles, de esta forma los elementos serán independientes del fondo, clasificando los píxeles de la imagen como fragmentos de ella.

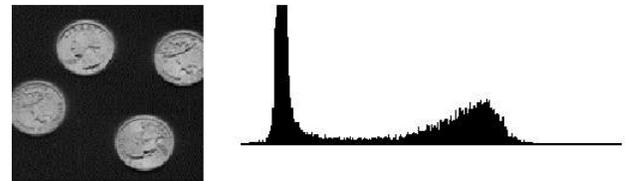


Figura 2: Objetos claros sobre un fondo oscuro

Su extracción se la realiza seleccionando el umbral de intensidad T que divide los dos objetos. Con esta forma cualquiera de los puntos (x, y) para $f(x, y) > T$, integrará al objeto, de lo contrario se integrará al fondo.

Usualmente se pueden dar dos casos el umbralización: thresholding y histograming. En ambos se necesita aplicar un valor igual de gris, para evaluar la intensidad en cada uno de los píxeles.

En Thresholding: si el fondo no es tan claro que el objeto entonces es lo determina como parte del elemento, si no es así, pasa a formar parte del resto de la imagen.

El Histograming: la parte importante de la imagen se la haya por medio de un análisis de la misma tomando un rango para encontrar el objeto.

2.2.4. El Kinect

Ahora, si con el pasar de la tecnología hemos tenido buenas cámaras y demás recursos de hardware para el trabajo en visión artificial. ¿Por qué se propuso realizar este proyecto con el Kinect?

En primer lugar porque es un recurso potente y de grandes prestaciones, no solo se compone de una cámara RGB sino también de una cámara infrarroja con las cuales se puede tener una imagen y a la vez calcular su profundidad con respecto a los objetos que la rodean. También influye el que sea una herramienta novel, que apenas se lanzó a fines del 2010 y que promete un desarrollo impresionante. Por último se notó que al ser un producto de inmensa popularidad tendrá una mejora constante y que cada vez ampliara más sus horizontes por lo que elegirlo es ir a un trabajo con respaldo.

Menú de componentes

Kinect posibilita la interacción con el computador por medio del adaptador USB. Tiene la facilidad de ajustar la cámara según una inclinación deseada. Posee unos 27° de trabajo verticales.

Generales: Infrarrojo (IR) CMOS camera y protector Infrarrojo -830, 60mW diodo laser.

Audio: Micrófonos

Controladores: Motor y Acelerómetro (3- axes)

Procesador y Memoria: Prime Sense Chip PS1080 -A2 y 64 MB DDR2 SDRAM

2.2.5. Raspberry pi 3

Al Raspberry pi 3 se lo considera como un computador de placa simple o reducida, su desarrollo fue dado en reino Unido, uno de los objetivos fue alentar que se enseñe este tipo de ciencias como lo es la computación.



Figura 3: Raspberry pi 3

2.3. Diseño e implementación de prototipo

El diseño del robot es totalmente inédito, el modelado de las piezas, simulación y verificación del espacio de los componentes se realizó en SolidWorks para su posterior fabricación en metal.

Consta de una base elaborada en metal de 3 mm para brindar soporte la estructura donde se asienta dos discos de nylon de 3cm uno sobre otro que le permitirá girar al primer eje en forma rotatoria, seguidamente los siguientes eslabones elaborados de igual manera en metal de menor espesor para facilitar el movimiento, a continuación, la gráfica para más explicación:

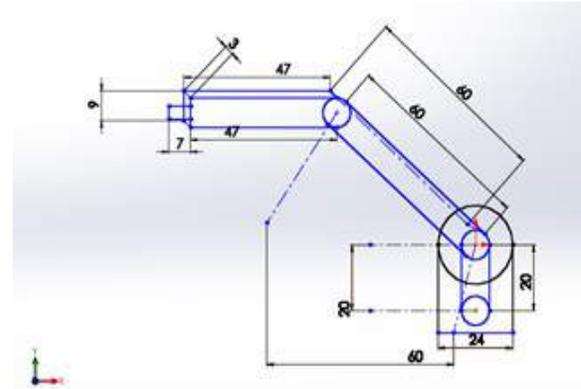


Figura 5: medidas reales en cm

Dimensiones:

Mesa: 60 x 60 x 60

Primer eslabón: 61 x 2.5cm x 4cm

Segundo: 42cm x 2.5cm x 4cm

Tercer eslabón: 14cm x 2.5cm x 4cm

Cuarto eslabón: 7cm

2.3.1 Metodología de Denavit-Hartenberg

Este es un método usado para el posicionamiento espacial del robot, aplicando las leyes de la cinemática inversa, con los cuales se usa el tipo de movimiento que se quiere imprimir en cada uno de los ejes y según sea el caso llegar a la posición final. En la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ilustra la metodología de Denavit-Hartenberg.

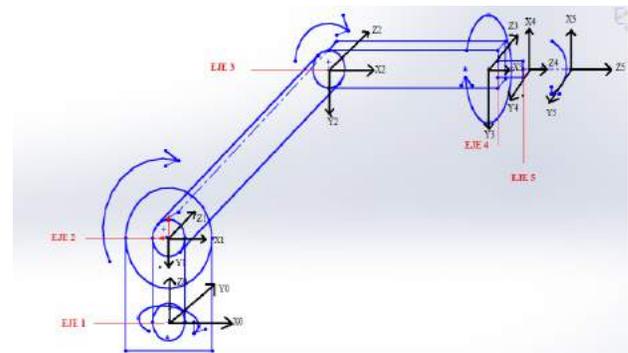


Figura 6: Esquema del brazo robot con sus respectivos ejes.

Para este brazo robótico de 5GDL se ha desarrollado la siguiente tabla de posicionamiento.

Tabla I: Parámetros DH

TABLA Denavit-Hartenberg (D-H)				
ELEMENTO	α_i°	q_i	θ_i°	d_i
1	90	0	θ_1	l1
2	0	12	θ_2	0
3	0	13	θ_3	0
4	0	0	θ_4	0
5	90	0	θ_5	l4

Realizado por: MINDA, Israel; RICAURTE, Alex, 2017

2.3.2. Método Geométrico.

Su proceso y funcionalidad se basa en usar la posición final a donde se desea hacer llegar al actuador final. A partir de allí, se ocupan funciones trigonométricas senos y cosenos, con los cuales se obtiene los ángulos de inclinación que necesita cada una de las articulaciones.

Como podemos apreciar en la imagen, necesitamos conocer (a parte de la posición final del actuador) la posición de la base o punto de inicio.

Además, las dimensiones de la altura de la barra, longitud del brazo, longitud del antebrazo y longitud de la muñeca.

Ya que el resultado final de esta resolución depende directamente de estos datos físicos que deben ser exactos.

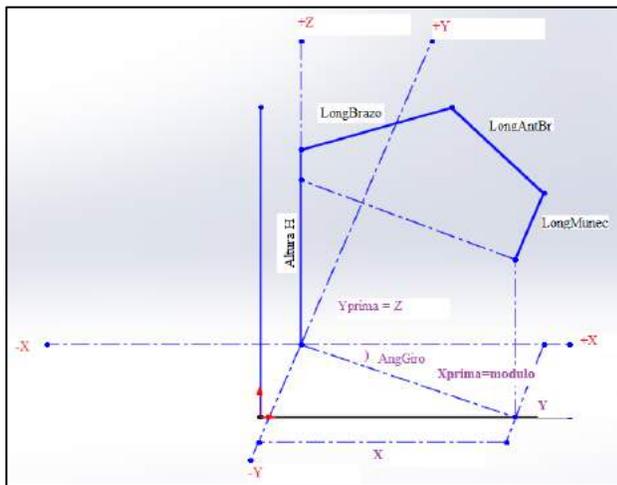


Figura 7: Esquema Geométrico

Realizado por: MINDA, Israel; RICAURTE, Alex, 2017

Resolución del Método Geométrico.

A continuación, se describe la resolución del método geométrico para el brazo robótico:

$$Afx = \cos(\text{Cabeceo}) * \text{LongMunec} \quad \text{ec(1)}$$

$$\text{LadoB} = X - Afx \quad \text{ec(1.1)}$$

$$Afy = \sin(\text{Cabeceo}) * \text{LongMunec} \quad \text{ec(2)}$$

$$\text{LadoA} = Y - Afy \quad \text{ec(2.1)}$$

$$\text{Hipotenusa} = \sqrt{(\text{LadoA})^2 + (\text{LadoB})^2} \quad \text{ec(3)}$$

Por geometría según figura 7 se obtiene lo siguiente:

$$\text{Alfa} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{LadoA}}{\text{LadoB}} \right)$$

Beta

$$= \cos^{-1} \frac{(\text{LongBrazo}^2 - \text{LongAntBr}^2 + \text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{Hipotenusa}}$$

$$\text{AngBrazo} = \text{Alfa} + \text{Beta}$$

Gamma

$$= \cos^{-1} \frac{(\text{LongBrazo}^2 + \text{LongAntBr}^2 - \text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{LongAntBr}}$$

$$\text{AngAntBr} = -(180 - \text{Gamma})$$

$$\text{AngMunec} = \text{Cabeceo} - \text{AngBrazo} - \text{AngAntBr}$$

Circuito impreso utilizado en el prototipo

La placa electrónica utilizada en el diseño esta simulada en ISIS Proteus, consta de un controlador Arduino nano, que es el encargado de conectar vía serial el sistema mecánico con el sistema de visión artificial, además controla las funciones de los finales de carrera, los controladores de los motores, y los sensores(encoders).

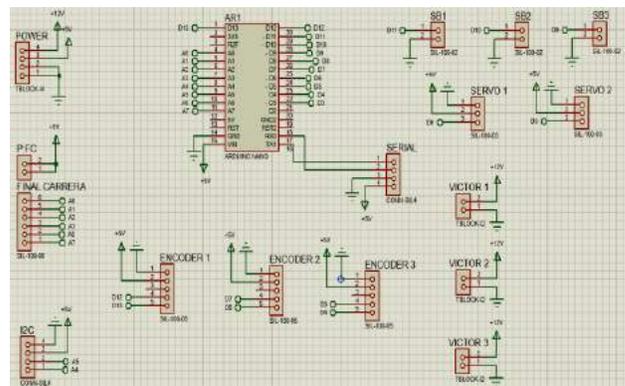


Figura 9: Diagrama electrónico

Realizado por: MINDA, Israel; RICAURTE, Alex, 2017

2.4. Funcionamiento

Los 3 primeros motores al ser DC cuentan con sensores (encoders) ubicados en sus ejes posibilitando ubicar al efector final en una posición requerida por el control de la visión artificial. Para limitar los movimientos de todas las articulaciones se precisó también colocar finales de carrera y con ello limitar el espacio de trabajo, y brindar protección a la estructura y al operador.

Finalmente se puede apreciar cómo están acoplados los motores con los eslabones, dando así 3 movimientos de traslación y dos de rotación.



Figura 9: Prototipo ensamblado

2.4.1 Diagrama de bloques del brazo robótico

Se muestra el diagrama de bloques de los principales componentes del diseño. En primer lugar se encuentra el sensor en este caso kinect que obtiene los datos del entorno que está conectado al procesador el cual codifica los datos recibidos para entregarlos al controlador secundario que a su vez da señal a los cuatro actuadores.

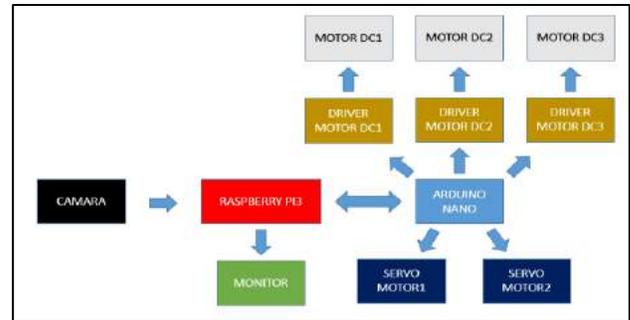


Figura: Diagrama de bloques del brazo robótico
Realizado por: MINDA, Israel; RICAURTE, Alex, 2017

2.5. Análisis De Resultados

A continuación se detalla los parámetros más importantes que se ha medido con el funcionamiento del brazo robótico.

Tabla II: Movimiento a 45°

MOVIMIENTO – PRIMERA ARTICULACIÓN 45°		
INTENTO	GRADOS	TIEMPO(SEG)
1	35	0,45
2	10	0,15
3	35	0,5
4	40	0,55
5	40	0,55
6	40	0,40
7	40	0,55
8	40	0,45
9	40	0,6
10	35	0,5

Tabla III: Movimiento a 45° 2do eje

SEGUNDO BRAZO – SEGUNDA ARTICULACIÓN 45°		
INTENTO	GRADOS	TIEMPO(SEG)
1	50	0,35
2	55	0,40
3	-20	0,20
4	55	0,35
5	40	0,30
6	45	0,35
7	45	0,40
8	40	0,35
9	45	0,40
10	50	0,30

2.5. 1 Análisis del Mecanismo Del Funcionamiento por Medio de Animaciones, en Msc.Adams

A continuación se tiene la simulación del prototipo con las dimensiones, peso y material real para su análisis.

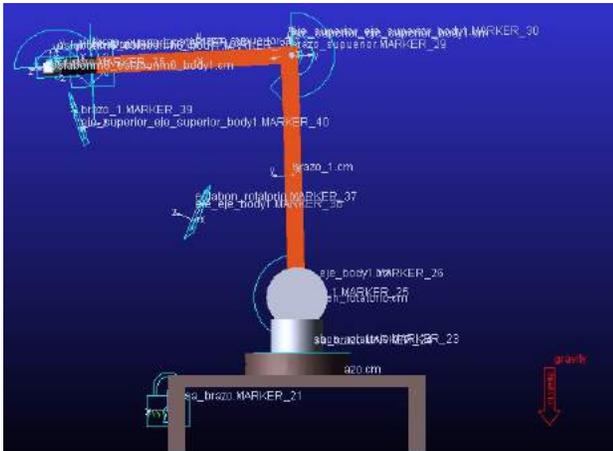


Figura 11: Modelamiento en Adams 2017

Graficas de las medias más sobresalientes, tomadas al tiempo de 10 seg.

En este movimiento se tiene el pico más alto de torque a los 2.3 seg, con 640 N.mm, además parte desde el reposo con un torque de 100N.mm.

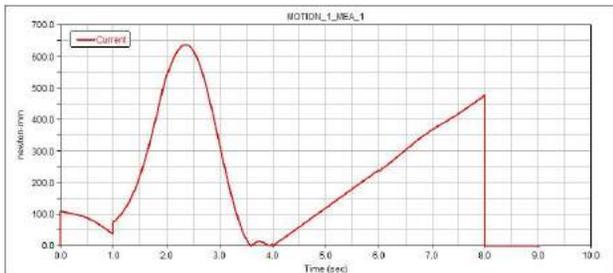


Figura 12: Torque del primer eje.

Se puede apreciar un torque negativo de 690 N.mm a los 2.4 seg debido al movimiento en sentido de las agujas del reloj del eje.

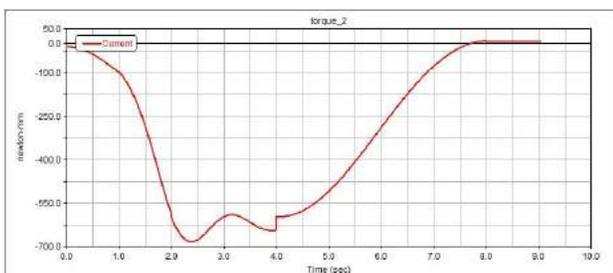


Figura 13: Torque del segundo eje.

Se tiene una medida de velocidad de rotación que interpreta el ángulo girado por una unidad de tiempo aquí se observa que desde el estado de reposo la curva asciende rápidamente hasta el primer segundo para luego declinar e incrementarse nuevamente a los 3 segundos.

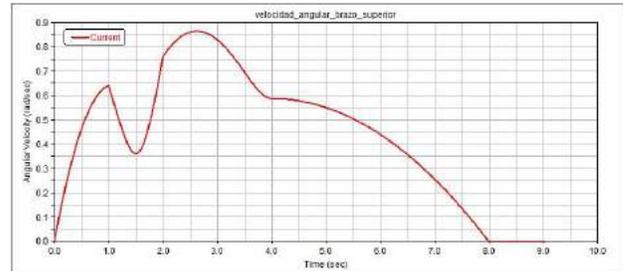


Figura 14: Velocidad angular tercer eslabón

Es muy distinta a la anterior por la rápida estabilización de la curva, esta llega al pico máximo a las 2,4 seg, y a partir del instante 4 seg esta se hace cero debido a que el movimiento en el primer eslabón se ha detenido.

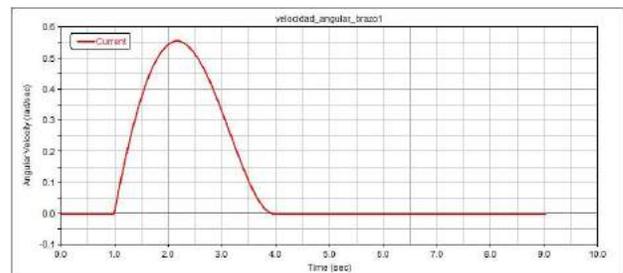


Figura 15: Velocidad angular segundo eslabón

Apreciación de los resultados.

Rápidamente se puede decir observando las gráficas que los picos más altos y bruscos de torque se generan en el primer eje dado por N.mm y en los tiempos que el mecanismo así lo requiere.

Se ha tomado la velocidad angular del segundo y tercer eslabón por ser los que más movimiento en este tipo despliegan dándonos en el segundo una constante a los 4seg.

3. CONCLUSIONES

- La implementación del brazo fue posible y completa, logrando culminar exitosamente con el objetivo esperado.
- Se ha demostrado la capacidad de la Raspberry pi aplicada en la visión artificial al movilizar un brazo robótico en dirección de un objeto a buscar, mediante software.

- Se demuestra que para la ejecución de un brazo robótico en tiempo real se necesita la correcta armonía entre fuerza y peso de la estructura del robot.
- Se concluye de forma definitiva que los sistemas de visión artificial requieren de un sistema de iluminación adecuado para obtener resultados con un nivel de fiabilidad concreto.
- Los brazos robóticos que cuentan con 5 grados de libertad tienen la capacidad de llegar a todos los rincones dentro de su espacio de trabajo.
- Se señala la importancia de las medidas de seguridad al momento de maniobrar el brazo ya sea en sus riegos mecánicos, eléctricos y físicos.
- La dificultad del brazo robótico radica en la construcción y utilidad de los componentes mecánicos dándole un grado de complejidad alto.
- La recolección de datos por parte de la cámara Kinect ha sido totalmente eficiente permitiéndonos ubicar el objeto en los planos x, y y z.

4. AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos dar las gracias a Dios por la vida, la salud, y por permitirnos llegar esta etapa tan esperada de nuestras vidas, a nuestros familiares y amigos incondicionales que nos han apoyado en este largo caminar.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EDMANS. Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial, Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones., 2006. pp. 1-91.
2. DIAZ CELIS C. Y ROMERO MOLANO C., Navegación de Robot móvil usando Kinect, OpenCV y Arduino., Meta – Colombia., Universidad de Llanos, 2012
3. ARBONA A., Análisis de Imágenes de profundidad para aplicaciones de realidad aumentada mediante del uso de la Kinect., Valencia – España., Universidad Politécnica de Valencia, 2013., pp. 1 -17
4. ANDUJAR C., Kinect., pp. 9-16
5. ALBA A., Ejercicios con OpenCV, Facultad de Ciencias, UASLP, Septiembre 2011., pp. 1-5.
6. ESPAÑA, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Madrid., Técnicas de Segmentación de Imágenes., pp. 5.6 – 5.9
7. RAMIREZ A., Reporte de Búsqueda, Detección y Conteo de Objetos., Guanajuato – México, Centro de Investigación en Matemáticas A.C
8. ILBAY LLANGARI, Luis Guido. Evaluación de algoritmos de tracking 3d para la simulación de un brazo robótico, mediante Kinect [En línea], (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de

- Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales Riobamba- Ecuador. 2015. pp. 24-127.
9. MACHUCA MENDOZA, Cristian Rodrigo; & LÓPEZ AYALA, Luis Fernando. Locomoción de un robot cuadrúpedo basada en redes neuronales artificiales (TESIS). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes.
 10. SALCEDO TOVAR, Marco Luis. Minicomputador educacional de bajo costo Raspberry Pi. *Revista*
 11. DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA. *Sistema de locomoción de robots móviles* [web]. Sevilla-España. Automatización y Robótica Industrial, 2010 pp. 1-20
 12. YAMANOOR Sai; & YAMANOOR Srihari. Raspberry Pi Mechatronics Projects HOTSH T [web]. Birmingham: Packt Publishing, 2015, pp.

Tiempo estándar en el gemba del calzado deportivo de microempresas del cantón Ambato

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Industrial

gmino@esPOCH.edu.ec; j_moyano@esPOCH.edu.ec; an_garcia@esPOCH.edu.ec; a_guaman@esPOCH.edu.ec

Resumen

En la actualidad, las empresas, independientemente si son grandes, mediana o pequeñas, hacen frente a mercados competitivos en que buscan ganar aceptación con sus clientes con eficiencia en sus procesos productivos, en las microempresas dedicada a la producción de calzado deportivo para mujeres, hombres y niños, del cantón Ambato. Todas estas actividades se efectúan en el Gemba, término gerencial japonés que es utilizado para describir el puesto de trabajo (Work station). Para la Metodología se utiliza algunas herramientas, en primer lugar se efectuó una entrevista con un cuestionario de 10 preguntas con la escala de Likert, efectuándolo a todos los trabajadores de la empresa, luego se valida la misma con alfa de Cronbach donde el margen de confiabilidad es de 0.70, para posteriormente tabular y priorizar los factores relevantes con la matriz de Holmes para así construir el diagrama de Pareto, luego se registra los tiempos de cada una de las actividades y verificando si están dentro del rango, en este caso en la hoja de operaciones actual tenía un acumulado de 2824.9 seg, con lo que se alcanzó el mejoramiento eficiente de los procesos, que tiene un papel fundamental en cuanto a la calidad.

Palabras claves: Gemba procesos, producción, operaciones, recorrido.

Abstract

At present, companies, regardless of whether they are large, medium or small, face competitive markets in which they seek to gain acceptance with their customers with efficiency in their production processes, in micro-enterprises dedicated to the production of sports shoes for women, men and children, from the Ambato canton. All these activities are carried out in the Gemba, a Japanese managerial term that is used to describe the work station (Work station). For the Methodology, some tools are used, first an interview was conducted with a questionnaire of 10 questions with the Likert scale, making it to all the workers of the company, then validating it with Cronbach's alpha where the margin of reliability is 0.70, to later tabulate and prioritize the relevant factors with the Holmes matrix in order to construct the Pareto diagram, then record the times of each of the activities and verify if they are within the range, in this case on the sheet of current operations had a cumulative of 2700 seg, and in the improved 2563 seg., which was achieved the efficient improvement of processes, which has a fundamental role in terms of quality.

Keywords: Gemba , processes, production, operations, travel.

I. INTRODUCCIÓN

En el análisis de la demografía empresarial ecuatoriana se centra principalmente en la revisión de la creación y muerte de las empresas (censos, 2015), en el periodo 2009-2015 sufre un estancamiento debido a la caída del precio del petróleo, situándose alrededor del 5% en la industria manufacturera. El tiempo que transcurre entre el nacimiento y su desaparición inciden de forma importante en la innovación, generación de empleo (Foster, 2001), esta dinámica es requerida con la idea de que las nuevas empresas requieren innovar, mejorar los procesos para elevar los índices de productividad y poder sostenerse en el mercado, donde depende los factores importantes son los de la ubicación geográfica, ventas, salarios de los trabajadores, procesos productivos eficientes. De acuerdo a (Censos, 2010) una empresa sobreviva tiene una probabilidad del 53.6 % en un empresa grande y del 29.6 % de una pequeña.

Con estos datos en la Provincia de Tungurahua de acuerdo al CENSO 2010 existen 2773 empresas manufactureras, las cuales se dedican a diferentes actividades, una de ellas es la elaboración de zapatos, motivo de esta investigación. Las micro empresas ambateñas de calzado deportivo la producción lo realiza bajo pedidos en diferentes modelos, tamaños y diseños, para la satisfacción de sus clientes en general, de todas las edades y géneros según sean sus gustos y necesidades.

Dentro de la empresa, en diferentes ocasiones por motivos de los pedidos efectuados se generan ciertas diversificaciones en los trabajos, pudiendo aumentar o disminuir el uso de los puestos de trabajo, así como la generación de espacios libres para la movilización del personal dentro de la misma, ya que cuando se requiere una mayor demanda de sus productos existe aglomeración de piezas y/o elementos de producción que interrumpen la libre movilización de un puesto a otro.

Aplicar los diagramas de procesos para el estudio analítico de un proceso de producción real es lo que lleva a cabo el interés de realizar el presente trabajo en una empresa de sector manufacturero. De esta forma lo que se busca es describir el proceso de fabricación del calzado deportivo aplicando los diagramas de procesos de trabajo que son actividades ejecutadas por los trabajadores. De igual forma el mejoramiento de la eficiencia productiva en este tipo de micro empresas al establecer un orden o cambiar/eliminar actividades (PALACIOS ACERO, 2009) que no generen valor y al finalizar el trabajo, brindar

una mejora en la producción que optimice recursos y beneficie a la empresa. Es por eso que la presente investigación tiene por finalidad analizar y explicar los procesos que intervienen en las actividades laborales diarias dentro de dicha empresa, rediseñar los puestos de trabajo con el fin disminuir el tiempo en las actividades (NIEBEL, 1999), esta es una técnica que se utiliza para determinar tiempos en los que un trabajador realiza una actividad o tarea definida, según una aplicación de norma establecida. (PALACIOS ACERO, 2009).

Otro de los elementos útiles para una mejora productiva son los diagramas de recorrido tienen como función mostrar de manera adecuada, donde se realizan las diferentes actividades, trayecto de los operarios, los materiales o el equipo, en un proceso de producción, de igual forma se tiene la hoja de ruta donde describe en secuencia las operaciones requeridas para transformar un componente del final desde su estado de materia prima hasta el producto elaborado que son el calzado deportivo, para finalmente utilizar la hoja de operación donde se especifica cómo y en qué equipo debe realizarse cada una de operaciones descritas en la "hoja de ruta".

Descripción del proceso de producción del producto y unidades producidas.

Para la elaboración del calzado deportivo primero se procede a transportar el cuero (cuerina) o tela de su respectiva área de almacenamiento al área de corte donde luego se corta a mano, se realiza los cortes necesarios por medio de moldes que corresponden para la elaboración de este calzado.

Una vez cumplido el corte, dichos cortes de cuero (cuerina) o tela son transportados al área de armado, en la misma donde proceden a unir las diferentes piezas, luego una vez que se tiene todo el cuerpo completo del zapato en cuero (cuerina) o en tela, se transporta a la sección de armado donde se le inserta la horma correspondiente y bajo la misma horma se coloca la planta del zapato el cual se procede a pegar sobre la misma.

Como siguiente paso se procede a poner el conjunto de armado y planta en la horma y reposar en el horno, para posteriormente prensar la cual permitirá que haya una mayor compactación de dichos componentes, y a la vez luego de este proceso se procede a quitar las hormas. Una vez retiradas las hormas, se colocan las plantillas sintéticas. En la etapa final se culmina con el empaquetado del calzado y su almacenamiento respectivo.

Para la diagramación de los diferentes diagramas se utiliza los símbolos de operación, transporte, inspección, Demora, Almacenamiento, operaciones combinadas como se ilustra en la tabla 1.

Tabla 1: Símbolos utilizados en el diagrama de procesos

Actividad	Símbolo
Operación	●
Transporte	➡
Inspección	⬇
Demora	⬇
Almacenaje	▼

Fuente: Maldonado, 2011

II. METODOLOGÍA

La presente investigación es experimental, donde se identifica las distintas variables actuantes en el proceso, este método utilizado tiene como propósito la identificación del efecto que tiene una variable en otra; en este caso en particular es la variable independiente tiempo estándar y el efecto que tendrá en la variable dependiente proceso de producción.

Método empleado es de variaciones concomitantes ya que su propósito es identificar la variación de un acontecimiento esta entrelazado con la variación de otro fenómeno, con lo que se concluye que uno es la causa del otro; por lo cual la situación de la empresa cambio.

Por lo cual se realiza una entrevista a los actores de los cuales se plante un cuestionario de tipo estructurado no disfrazado por lo que no se oculta el objetivo de la investigación, con preguntas en función de la escale de Likert.

Coefficiente de Alfa de Cronbach

A fin de validar la encuesta su utilizo esta herramienta la cual proporciona valores entre cero y uno.

$$\alpha = \left| \frac{k}{k-1} \right| * \left| 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right|$$

Dónde:

K= Número de ítems

$\sum S_i^2$ = Suma de las variables de cada ítem

S_T^2 = Varianza Total

$$\alpha = \left| \frac{10}{10-1} \right| * \left| 1 - \frac{19,88}{53,66} \right|$$

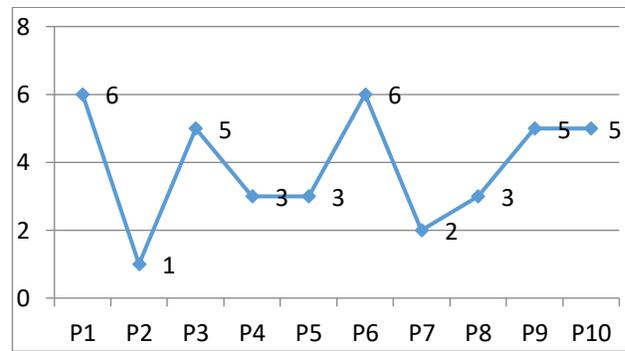
$$\alpha = 0,70$$

El margen de confiabilidad que se tiene es de $\alpha = 0,70$ por lo cual se puede identificar que representa una consistencia interna es buena de igual manera los resultados que se obtiene.

Tabulación

Para la realización de la tabulación se efectúa mediante la codificación del mismo para posteriormente analizar los resultados obtenidos en el cual se enfocó a los entrevistados que respondieron la primera opción, con la que se puede identificar los factores más relevantes para la presente investigación como muestra la figura 1.

Figura 1: Principales factores.



Elaborado por: Los Autores

Se puede concluir que los principales factores son las preguntas 1, 3, 6, 9 y 10 ya que estos poseen una alta puntuación alcanzada en la realización de las entrevistas con valores iguales o mayores al 50% y estas son:

1. Como es el proceso del producto
2. Tiempo de ciclo del proceso del producto
3. Administrador con conocimientos especializados en procesos de producción
4. Distribución de espacios puesto trabajo (GEMBA)
5. Capacitación del método del proceso productivo

Matriz de priorización o de Holmes

Como se muestra en la tabla 2 de la matriz de Holmes ha permitido generar un orden de importancia en los factores identificados mediante la entrevista a los actores.

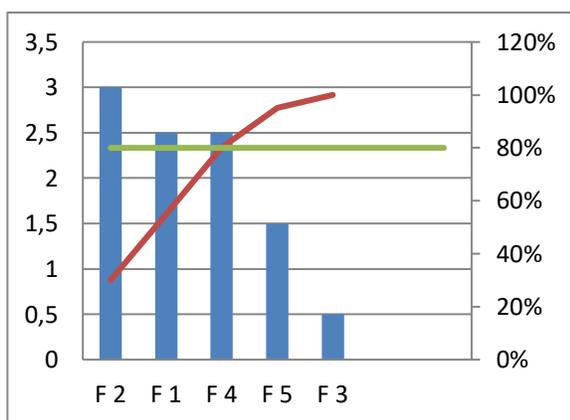
Tabla 2: Matriz de priorización o de Holmes

Factores	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	Suma	%	Orden Matriz
F1	0	0,5	1	0,5	0,5	2,5	25%	2
F2	0,5	0	1	0,5	1	3	30%	1
F3	0	0	0	0,5	0,5	0,5	5%	5
F4	0,5	0,5	1	0	0,5	2,5	25%	3
F5	0,5	0	0,5	0,5	0	1,5	15%	4
Total						10	100%	

Elaborado por: Los Autores

Como se muestra en el gráfico figura 2 más del 80% de los factores se concentra en el conjunto.

Figura 2 Diagrama de Pareto



Elaborado por: Los Autores.

La “Medición de Trabajo” en el estudio de tiempos es la metodología factible en la cual nos vamos a basar de igual forma en esta investigación.

El estudio de medición de trabajo demanda cierto material fundamental como es: un cronómetro o tabla de tiempos, una hoja de observaciones. Se procedió a la toma de datos como sus tiempos en cada puesto de trabajo de la micro empresa, se generó partiendo desde una perspectiva realista que se obtuvo una vez realizada la medición en tiempo real con lo cual permitió conocer la importancia de adquirir cierto tipo de consideraciones a tener en cuenta en el desarrollo de este problema en particular, verificando el proceso de producción en cada etapa y evaluando si existe demora en la misma. (Freivalds, 2013)

Realizado la medición de los tiempos se registrara en una tabla, donde se clasifican las acciones que tienen lugar durante un proceso dado en cinco categorías, conocidas bajo los términos de operaciones,

transportes, inspecciones, retrasos o demoras, operaciones combinadas y almacenajes, (Velasco Sánchez Juan, Campis Masriera Juan Antonio, 2013).

Esta investigación es experimental ya que se relaciona una variable sobre otra, en este caso el mejoramiento productivo como variable dependiente y el efecto que tiene en esta variable la estandarización de los tiempos en el Gemba de calzado deportivo. De igual forma el registro de los datos de cada una de las actividades en las diferentes estaciones (Gemba) de trabajo con el tiempo empleado, distancias de los transportes, demoras. De igual forma una vez tomados los tiempos de cada una de las actividades que forman parte del proceso se procede a calcular el número de ciclos a tomar.

Considerando las actividades de cada una de las estaciones de trabajo se procede a verificar si las observaciones realizadas (tres en total) están dentro de un rango, para ello se utiliza la ecuación siguiente:

$$N' = \left\{ \frac{40\sqrt{N \sum t^2 - (\sum Xt)^2}}{\sum t} \right\}^2 \quad (1)$$

Siendo:

N' = Número necesario de observaciones,
 t = Lectura de los tiempos del elemento medido, y
 N = Número de lecturas realizadas.

Finalmente se realiza el cálculo del tiempo estándar donde se determina efectuando el producto del tiempo normal con uno (1) más las holguras entre las que se considera: las necesidades personales 5 %, fatiga del trabajador 2 %, suplemento postura de pie 2 %, valores que requiere un trabajador calificado y capacitado en realizar una actividad a ritmo normal, la tabla 3 ilustra las holguras mínimas en el área de soldadura.

Tabla 3 Holguras tomadas por la empresa

Suplementos Constantes	%
Necesidades personales	5
Fatiga básica	2
Suplementos Variables De Descanso	
Suplemento por postura de pie	2
Total	9

Elaborado por: Los Autores.

Entonces el tiempo estándar es igual al producto del tiempo normal multiplicado por la suma de uno más el 9 por ciento como total del suplemento, especificado en la siguiente fórmula.

$$T_s = \text{tiempo normal} * (1 + \text{suplementos}).$$

$$T_s = \text{tiempo normal} * (1 + 0.09)$$

Donde

Ts = tiempo estándar

III. RESULTADOS

Con la metodología expuesta, se procede a la toma de datos de cada operación, y calcular el número de observaciones como se muestra en la tabla 4

Tabla.4 Cálculo del número de observaciones

N _o	Actividad	Registro de tiempos tomados				$\sum t$	$\sum t^2$	$(\sum t)^2$	$\sqrt{N \sum t^2 - (\sum t)^2}$	$\left(\frac{40 * \sqrt{N \sum t^2 - (\sum t)^2}}{\sum t} \right)$	N
		t1	t2	t3	$\sum t$						
1	Transporte del cuero desde el área de almacenamiento al área de corte.	17.5	18	18.1	53.6	957.9	2873	0.79	0.3	1	
2	Corte del cuero (cuerina) o tela a mano, a base de moldes.	50	52	47	149.0	7413.0	22201	6.16	2.7	3	
3	Transporte de las piezas cortadas de cuero desde el área de corte al área de aparado (máquina).	5.8	6.1	6	17.9	106.9	320.41	0.37	0.7	1	
4	Transporte de hilos desde el área de almacenamiento de hilos al área de aparado.	10	10.3	10	30.3	306.1	918.09	0.42	0.3	1	
5	Colocado de los hilos en la máquina.	30.5	30.2	30	90.7	2742.3	8226.5	0.62	0.1	1	
6	Cocido del cuerpo del corte del zapato en la máquina de coser.	58	60.1	62	180.1	10820.0	32436	4.90	1.2	2	
7	Unión del cuerpo del corte del zapato con el talón en la máquina de coser.	13.1	12.5	13	38.6	496.9	1490	0.79	0.7	1	
8	Unión de la lengüeta con el cuerpo del zapato.	20	19	21	60.0	1202.0	3600	2.45	2.7	3	
9	Transporte del cuerpo del zapato al área de hacer agujeros	30.5	29	31	90.5	2732.3	8190.3	2.55	1.3	2	
10	Perforación del cuerpo del zapato	25	25.2	26	76.2	1936.0	5806.4	1.30	0.5	1	
11	Transporte del cuerpo del zapato (con agujeros) del área de hacer agujeros al área de armado y pegado.	12.8	13.1	13	38.9	504.5	1513.2	0.37	0.1	1	
12	Preformado de los cortes (estiramiento del cuero o cuerina, tela).	408	410	412	1230.0	504308	1512900	4.90	0.0	1	
13	Colocado del cuero en la horma (armado).	30.2	28	30.1	88.3	2602.1	7796.9	3.04	1.9	2	
14	Transporte de las plantas desde el área de almacenamiento al área de armado y pegado de plantas.	53	50	50	153.0	7809.0	23409	4.24	1.2	2	
15	Transporte de pegas desde el área de almacenamiento de pegas al área de armado y pegado	72	70	68	210.0	14708.0	44100	4.90	0.9	1	
16	Colocado de la pega en la parte inferior de los armados y en la planta (manual).	61	58	60	179.0	10685.0	32041	3.74	0.7	1	
17	Reposo de la pega de los armados y las plantas.	112	111	110	333.0	36965.0	110889	2.45	0.1	1	
18	Transporte de los armados y las plantas al horno	7	7.2	7.3	21.5	154.1	462.25	0.37	0.5	1	
19	Mejoramiento de la pega en los armados y en las plantas en el horno.	76	78	73	227.0	17189.0	51529	6.16	1.2	2	
20	Transporte de la planta con el armado desde el horno hasta la sección armado.	7.1	7.2	7.3	21.6	155.5	466.56	0.24	0.2	1	
21	Pegado de la planta en el armado (manual).	58	62	60	180.0	10808.0	32400	4.90	1.2	2	
22	Compactado del pegado de la planta con el armado con el martillo.	20.1	20.3	20.4	60.8	1232.3	3696.6	0.37	0.1	1	

N°	Actividad	Registro de tiempos tomados					$\sum t^2$	$(\sum t)^2$	$\sqrt{\frac{\sum t^2 - (\sum t)^2}{N}}$	$\left(\frac{40 + \sqrt{\frac{\sum t^2 - (\sum t)^2}{N}}}{\sum t}\right)$	N
		t1	t2	t3	$\sum t$	$\sum t^2$					
23	Reposo del compacto de la planta con el armado (zapato casi listo).	1125	1125	1125	3375.0	3796875	1E+07	0.00	0.0	0	
24	Retirado de las hormas de los zapatos de forma manual (casi listos).	12.4	13	13.5	38.9	505.0	1513.2	1.35	1.9	2	
25	Transporte de zapatos (casi listos) desde el área de armado al área de terminado.	24	25	26	75.0	1877.0	5625	2.45	1.7	2	
26	Transporte de las plantillas sintéticas desde el área de almacenamiento al área de terminado.	52	55.3	55	162.3	8787.1	26341	4.47	1.2	2	
27	Transporte de pasadores desde el área de almacenamiento al área de terminado.	58	59	60	177.0	10445.0	31329	2.45	0.3	1	
28	Colocado de plantillas sintéticas Y pasadores en los zapatos (casi listos)	53	53	51	157.0	8219.0	24649	2.83	0.5	1	
29	Verificado de calidad (control de calidad).	16	17	17.2	50.2	840.8	2520	1.57	1.6	2	
30	Transporte de los zapatos terminados desde el área de terminado al área de empacado y almacenamiento.	56	54	55	165.0	9077.0	27225	2.45	0.4	1	
31	Empacado de los zapatos terminados.	15	15.5	14	44.5	661.3	1980.3	1.87	2.8	3	

Fuente: Elaboración propia.

El promedio de los tiempos obtenidos se trabaja para realizar la respectiva hoja de operaciones como se muestra.

La tabla 5 muestra el registro de las diferentes actividades con sus tiempos respectivos (tiempos

estándar es decir, que una vez efectuados el promedio del tiempo, se multiplica por la velocidad de trabajo y se obtiene el tiempo normal, luego este tiempo normal se multiplica por 1 más los suplementos, obteniendo el tiempo estándar) $T_s = \text{tiempo normal} * (1 + \text{suplementos})$.

Tabla 5. Diagrama de análisis de procesos y cálculo del tiempo estándar

Calzado Deportivo						
Área: Corte, aparado, armado y pegado de plantas, terminado, empaquetados, almacenamientos		Operario: ---		Analista: Vladimir Bautista- Darwin Fiallos	Método: Actual	Fecha: --
		Máquina: máquina de coser, otros				
N°	Descripción	Símbolo	Distancia (m)	tiempo promedio	Tiempo normal (seg.)	Tiempo estándar
1	Transporte del cuero desde el área de almacenamiento al área de corte.	1 	3	17.9	17.9	19.5
2	Corte del cuero (cuerina) o tela a mano, a base de moldes.	1 		49.7	49.7	54.1
3	Transporte de las piezas cortadas de cuero desde el área de corte al área de aparado (máquina).	2 	1	6.0	6.0	6.5
4	Transporte de hilos desde el área de almacenamiento de hilos al área de aparado.	3 	4	10.1	10.1	11.0
5	Colocado de los hilos en la máquina.	2 		30.2	30.2	33.0
6	Cocido del cuerpo del corte del zapato en la máquina de coser.	3 		60.0	60.0	65.4
7	Unión del cuerpo del corte del zapato con el talón en la máquina de coser.	4 		12.9	12.9	14.0
8	Unión de la lengüeta con el cuerpo del zapato.	5 		20.0	20.0	21.8
9	Transporte del cuerpo del zapato al área de hacer agujeros	4 	8	30.2	30.2	32.9
10	Perforación del cuerpo del zapato	6 		25.4	25.4	27.7

N ^o	Descripción	Símbolo	Distancia (m)	tiempo promedio	Tiempo normal (seg.)	Tiempo estándar
11	Transporte del cuerpo del zapato (con agujeros) del área de hacer agujeros al área de armado y pegado.	5 →	5	13.0	13.0	14.1
12	Preformado de los cortes (estiramiento del cuero o cuerina, tela).	1 D		410.0	410.0	446.9
13	Colocado del cuero en la horma (armado).	7 O		29.4	29.4	32.1
14	Transporte de las plantas desde el área de almacenamiento al área de armado y pegado de plantas.	6 →	11	51.0	51.0	55.6
15	Transporte de pegas desde el área de almacenamiento de pegas al área de armado y pegado	7 →	13	70.0	70.0	76.3
16	Colocado de la pega en la parte inferior de los armados y en la planta (manual).	8 O		59.7	59.7	65.0
17	Reposo de la pega de los armados y las plantas.	2 D		111.0	111.0	121.0
18	Transporte de los armados y las plantas al horno	8 →	1	7.2	7.2	7.8
19	Mejoramiento de la pega en los armados y en las plantas en el horno.	3 D		75.7	75.7	82.5
20	Transporte de la planta con el armado desde el horno hasta la sección armado.	9 →	1	7.2	7.2	7.8
21	Pegado de la planta en el armado (manual).	9 O		60.0	60.0	65.4
22	Compactado del pegado de la planta con el armado con el martillo.	10 O		20.3	20.3	22.1
23	Reposo del compacto de la planta con el armado (zapato casi listo).	4 D		1125.0	1125.0	1226.3
24	Retirado de las hormas de los zapatos de forma manual (casi listos).	11 O		13.0	13.0	14.1
25	Transporte de zapatos (casi listos) desde el área de armado al área de terminado.	10 →	3	25.0	25.0	27.3
26	Transporte de las plantillas sintéticas desde el área de almacenamiento al área de terminado.	11 →	12	54.1	54.1	59.0
27	Transporte de pasadores desde el área de almacenamiento al área de terminado.	12 →	13	59.0	59.0	64.3
28	Colocado de plantillas sintéticas y pasadores en los zapatos (casi listos)	12 O		52.3	52.3	57.0
29	Verificado de calidad (control de calidad).	1 □		16.7	16.7	18.2
30	Transporte de los zapatos terminados desde el área de terminado al área de empacado y almacenamiento.	13 →	14	55.0	55.0	60.0
31	Empacado de los zapatos terminados.	13 O		14.8	14.8	16.2
TIEMPO TOTAL						2824.9

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo como resultado el resumen ilustrado en la tabla 6 donde se muestra los tiempos de cada operación del antes y luego de haber ejecutado el proceso de determinación del tiempo estándar.

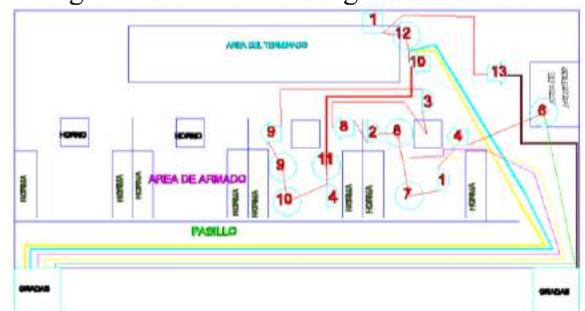
Tabla 6. Resumen de diagrama de operaciones de procesos

Después			
Símbolo	NO-	Distancia	Tiempo
→	13	89 m	442.1 seg
O	13		487.9 seg.
D	4		1876.07 seg
□	1		18.2 seg.
Total			2824.9

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 se encuentra la distribución final formulada una vez que de término los tiempos estándar y las actividades tienen una secuencialización.

Figura 3 Resumen de Diagrama de Recorrido



Fuente: Elaboración propia.

Después de una correcta aplicación de la metodología en el registro de los tiempos mediante la toma de videos se obtuvo el resumen detallado en el cual la propuesta de mejorar los tiempos, se lo puede realizar mediante la disminución de la distancia, esto se consigue realizando una redistribución de las estaciones de trabajo ilustrada en la figura 3

IV. DISCUSIÓN

La micro empresa tiene falencias en sus procesos productivos en la cual se ven afectados directamente con los tiempos de cada actividad, debido a la mala distribución de las zonas de trabajo, lo que afecta a las distancias para alcanzar la materia prima, los resultados indicaron que existe tiempo de demora en algunas operaciones que retardan la producción como se muestra en la Tabla 5 lo que lleva al análisis detallado para su mejora correspondiente y su modificación en el diagrama de recorrido.

La productividad es un factor esencial para llegar a una competitividad sostenible a largo plazo. El propósito de la medición de trabajo es calcular los tiempos antes y después de aplicar la metodología establecida anteriormente, para ayudar al mejoramiento productivo de la micro empresa y lograr tener mayor competitividad en el mercado.

V. CONCLUSIONES

- De forma general, el estudio y análisis de los diagramas de producción, como de la situación actual de producción se convierten en herramientas útiles para nuestro estudio
- El empleo del tiempo estándar ayuda mucho en el análisis y elaboración de los diferente diagramas, entre ellos , procesos, análisis procesos, hombre máquina, determinación de rutas
- Analizamos las deficiencias que presenta el proceso de fabricación en la micro empresa con la ayuda de los diagramas de trabajo y el cálculo del tiempo estándar se dispone ya de una estandarización de proceso.

Se determina el tiempo estándar de todas las actividades

Después			
Símbolo	No-	Distancia	Tiempo
	13	89 m	442.1 seg
	13		487.9 seg.
	4		1876.07 seg
	1		18.2 seg.
Total			2824.9

BIBLIOGRAFÍA

- ACERO, L. C. (2017). *INGENIERÍA DE MÉTODOS*. ECOE EDICIONES.
- Barnes, R. M. (1956). *ESTUDIO DE MOVIMIENTOS Y TIEMPOS*. Madrid.
- Bernal Torres, C. A. (2006). *Metodología de la investigación: para administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Segunda ed.). México: Pearson Educación.
- Callao, R. P. (14 de Junio de 2012). *Ingeniería de Metodos*. Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de <http://ingenieriametodos.blogspot.com/2012/06/diagrama-de-hilos-i.html>
- CARDENAS, R. (s.f.). *Presupuesto Teoria y Practica* . Mexico: McGraw Hill,.
- Censos, I. N. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Recuperado el 5 de Marzo de 2016, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- censos, I. N. (2015). *Panorama laboral y empresarial del Ecuador* . Quito : Inec y la Cepal .
- Chapman, S. N. (2006). *PLANIFICACIÓN Y Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN*. México: Pearson Educación , S.A.
- ESADE. (2004). *Guías de estión de la Innovación Produccion y Logistica*. Barcelona, Catalunya.

- Foster, L. C. (2001). *Aggregate Productivity Growth. Lessons from Microeconomic Evidence*. Chicago: University of Chicago Press.
- Freivalds, B. W. (2013). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*.
- Gestion de calidad y mejora de procesos. (s.f.). *SEDIC*. Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de http://www.sedic.es/autoformacion/seccion6_DProcesos.htm
- Ingenieria Industrial Online. (s.f.). *Ingenieria Industrial Online*. Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/>
- Neira, E. (2004). *Propuesta para el Mejoramiento de los procesos productivos de la empresa SERVIOPAC LTDA*. Bogota, Colombia.
- NIEBEL, B. W. (1999). *INGENIERIA INDUSTRIAL: METODOS, TIEMPOS Y MOVIMIENTOS*. ALFAOMEGA GRUPO .
- PALACIOS ACERO, L. C. (2009). *INGENIERIA DE METODOS MOVIMIENTOS Y TIEMPOS*. ECOE EDICIONES .
- Prokopenko, J. (1989). *La Gestion de la Produccion*.
- TOME, L. C. (2014). *Ingeniería De Métodos. Movimiento Y Tiempos*.
- URBINA, G. B. (2004). *Evaluacion de Proyectos*. Mexico.
- Velasco Sánchez Juan, Campis Masriera Juan Antonio. (2013). *Gestión de la producción en la empresa*. Madrid: Pirámide.

Gestión de inventarios en microempresas del sector textil para la toma de decisiones

Alcides Napoleón García Flores; Gloria Elizabeth Miño Cascante; Julio Cesar Moyano Alulema; Ángel Geovanny Guamán Lozano; Eugenia Mercedes Naranjo Vargas.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, Ecuador.

an_garcia@esPOCH.edu.ec; gmino@esPOCH.edu.ec.com; j_moyano@esPOCH.edu.ec; a_guaman@esPOCH.edu.ec; eugenia.naranjo@esPOCH.edu.ec,

Resumen

En el presente trabajo tiene como objetivo el diseñar una adecuada gestión de inventarios en las microempresas del sector textiles para la toma de decisiones, se describen los modelos de inventarios, los cuales permiten mantener una existencia de productos a un nivel adecuado; con el propósito de optimizar el costo de capital y lograr que la producción de esta se desarrolle sin interrupciones o contratiempos. Por lo cual se efectúa una investigación descriptiva para delimitar el modelo más utilizado, en el que se evidencia que es el “modelo de la cantidad económica de pedido”. Posteriormente se efectúa una investigación exploratorio mediante una cuestionario estructurada no disfrazada, dirigida a los microempresas del sector textil con preguntas cerradas en función a la escala de Likert, y para validar la encuesta se aplicó el coeficiente de Alpha de Cronbach con un resultado de $\alpha = 0,71$, lo cual determina que la información es buena y consecuentemente los resultados; llegando a concluir que el principal factor a considerar es el volumen de reposición. Así también se utilizó la matriz de correlación, en el que se identificó la correlación positiva que tiene el factor mencionado con la aceptación de los clientes, costos ordenar, calidad, instalaciones, rotación de inventarios, mercado, teoría de restricciones, producto para mercado emergente, capacidad, productividad y eficiencia.

Palabras Claves

Gestión de Inventarios, Producción, tomas de decisiones, microempresas, textil.

Abstract

The objective of this paper is to design an adequate management of inventories in the microenterprises of the textile sector for decision-making. The inventory models are described, which allow to maintain an existence of products at an adequate level; with the purpose of optimizing the cost of capital and achieving that the production of this one is developed without interruptions or setbacks. Therefore, a descriptive investigation is carried out to delimit the most used model, which shows that it is the "model of the economic order quantity". Subsequently, an exploratory research is conducted through a structured questionnaire not disguised, aimed at micro-businesses in the textile sector with closed questions according to the Likert scale, and to validate the survey the Cronbach's Alpha coefficient was applied with a result of $\alpha = 0.71$, which determines that the information is good and consequently the results; arriving to conclude that the main factor to consider is the volume of replacement. Likewise, the correlation matrix was used, in which the positive correlation that the aforementioned factor has with the acceptance of the clients was identified, costs ordered, quality, facilities, rotation of inventories, market, theory of restrictions, product for the emerging market, capacity, productivity and efficiency.

Index Terms

Inventory Management, Production, decision making, micro-enterprises, textile.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la gestión de inventarios es uno de los desafíos que afrontan las microempresas en cuanto planificación, dirección, control y evaluación de cada una de las actividades que se desarrollan en las estaciones de trabajo en las mismas, para poder obtener sus productos en un nivel de calidad requerida por los consumidores. Por lo cual se requiere de una identificación precisa de las materias primas, las que juegan un papel importante en la toma de decisiones en los diferentes ámbitos como es el despacho de los requerimientos de los clientes y que se lo realice de manera adecuada y sobre todo con rapidez. (Chapman, 2006).

Por lo cual en el presente trabajo se identifica el modelo de inventario que proporciona una adecuada toma de decisiones para el sector textil que otorgue una existencia de productos, según sean las necesidades de las unidades requeridas a ser producidas en función de la demanda del mercado. Considerando que la actividad textil es una significativa fuente de empleo, la cual demanda personal calificado y no calificado para las diferentes áreas y sin olvidar que es una industria integrada la que solicita materias de otros sectores.

La industria textil ayuda al incremento del sector manufacturero con un inestimable aporte, las exportaciones de artículos relacionados con esta industria han presentado en los últimos años un crecimiento significativo, repercutiendo en la competitividad que es el principal desafío de toda industria, hacerlo permitirá ingresar y posicionarse en mercados internos y externos lo que incentiva la producción y por lo tanto generar importantes plazas de empleo (INEC 2017).

La situación actual del sector de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) de textiles es muy compleja y riesgosa. En el ámbito nacional, los empresarios de Chimborazo, apenas constituyen el 2,97% del total en el país (Presidencia de la República de Ecuador, 2010, pág. 5), concentrándose la mayoría de emprendimientos en Riobamba, lo que constituye un indicador de la necesidad de incremento de estos emprendimientos si se considera que la población de Chimborazo es el 3,09% del total nacional (INEC, 2013); es decir, el crecimiento poblacional es superior al empresarial.

Los modelos utilizados son preferentemente matemáticos los mismos que se pueden clasificar según los valores y características de las variables (Rolleri, 2013). Al momento de tomar decisiones se identifica la mercancía disponible para ser usada. Además con la cantidad de

artículos que son almacenados y se mantienen inactivos en un instante de tiempo dado se puede planificar lo requerimiento de materiales. (Duarte & Rafael, 2008). Para la gestión de inventarios se les concibe como la acumulación de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que van surgiendo en diversos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa. (Zapata, 2014)

La toma de decisiones contemplan algunos factores de la organización y de su estructura, con la que se condiciona la misma siendo necesarios mecanismos de coordinación elevados identificando los requerimientos de cada una de las empresas (Cañabate Carmona, 1997), para ello se pone en consideración el **Modelo De La Cantidad Económica De Pedido** denominado también como modelo de orden económica o lote económico (EOQ. Economic Order Quantity), el mismo es de más uso y popularidad por cuanto a su sencillez, extensa aplicabilidad y su manejo como base para modelos más avanzados. (Gutiérrez, 2012), por lo que es necesario considerar el más sencillo y fundamental entre todos los modelos de inventario, ya que detalla el significativo lineamiento entre los costos fijos y los costos de mantener el inventario, considerándolo como el eje principal para otros modelos más complejos. (Causado, 2015), en este modelo se emplea una tasa constante de demanda el pedido instantáneo y sin faltantes para la entrega del mismo a los clientes. (Taha, 2004)

El intervalo de tiempo que inicia con la una orden y finaliza antes del arribo de la orden siguiente de producción esto se denomina **Ciclo** y la ecuación útil para el efecto de cálculos es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * C_p}{c_{mi}}} \quad (1)$$

Q*= cantidad optima de pedido

Q= cantidad pedida, (cantidad de unidades)

D= tasa de demanda, (unidades por unidad de tiempo)

TO= duración del ciclo de pedido (unidades de tiempo)

Este modelo requiere de dos parámetros:

Cp: costo de ordenar o pedir un pedido, (\$/pedido)

De igual forma se detalla el **Modelo De Descuentos Por Compras De Lotes Mayores**, este modelo con descuentos por cantidad es una ramificación del modelo de cantidad económica de pedido. Se toma en consideración que el costo de adquisición se reduce en la medida que acrecienta el tamaño de lote. Adicionalmente se considera que el costo de almacenar una unidad en

inventario es un porcentaje del costo de adquisición. Unos de los incentivos para la adquisición de productos en gran cantidad por parte de los clientes son los descuentos por cantidad, crean coacción para conservar un inventario cuantioso. (Ortega-González, 2016).

Al combinarse los tres componentes de costos, resulta la función de costo total para el Modelo:

$$C_T = \frac{DC_0}{Q} + \frac{S^2 C_m}{2Q} + \frac{B^2 C_a}{2Q} \quad (2)$$

El **Modelo del punto de renovación de pedidos (PRP)** de cualquier empresa, en tiempo normal de trabajo se debe ir consumiendo hasta agotar, pero si se considera una orden de compra o producción, con esto se genera una nueva remesa de inventarios, para los almacenes, antes que la mercancía se agote.

$$PRP = Ce \times Tr + Is \quad (3)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{Punto de} \\ \text{renovación} \\ \text{de pedido} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Consumo de} \\ \text{existencias} \\ \text{(diario)} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{Tiempo} \\ \text{de} \\ \text{adelante} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Inventario} \\ \text{de} \\ \text{seguridad} \end{matrix} \right) \quad (4)$$

Donde:

- PRP = Punto de renovación de pedido.
- Ce = Consumo de existencias por unidad de tiempo (al día, a la semana, etcétera).
- T = Tiempo de reposición o tiempo transcurrido desde que se determina la necesidad de inventario hasta que se tiene a disposición de producción o de los clientes.
- Is = Inventario de seguridad.

En los **Inventarios De Seguridad** se considera como una barrera de seguridad, en el que se puede soportar los riesgos de paros no planeados de producción o requerimientos inesperados en la demanda del mercado consumidor. (Fajardo & Garzón, 2014), al considerar la demanda y requerimiento de producción por anticipado, es decir saber cuánto comprar y elaborar en un momento definido, el proceso de cálculo para inventarios es simple, tiene complicación por los costos que esto implica. (Ríos, Martínez, Palomo, S.Cáceres, & Díaz, 2008)

El **Método Híbrido** combina dos modelos Cantidad Económica de Pedido, el del Punto de Renovación del Pedido y de Descuentos por compra de mayores volúmenes (Landeta, Cortés, & Rebeles, 2012), de modo que al decidir cuánto y cuándo pedir, se optimice el costo por concepto del manejo del inventario y la adquisición de los artículos. (Izar, Ynzunza, & Sarmiento, 2011).

$$Q = \sqrt{\frac{2C_p D}{C_a M}} \quad (5)$$

Dónde:

Q = Cantidad de pedido, artículos/pedido.

C_p = Costo de colocar cada pedido, \$/pedido.

D = Demanda anual del producto, artículos/año.

C_a = Costo de compra de cada artículo, \$/artículo.

M = Fracción anual de conservación del inventario, fracción/año.

El **Modelo de cantidad de pedido fija y ciclo de tiempo variable**, reside en una valoración de la demanda, a fin de logra establece una cantidad de reabastecimiento para el próximo periodo, así como en el instante en el que se efectuó el pedido en función a una cantidad fija.

En la valoración de este modelo se emplea la siguiente formula:

$$(\text{Nivel de servicio}) n. s. = \frac{N-F}{N} * 100 \quad (6)$$

Dónde:

N = Numero de pedidos anuales N= D/Qo

F = Faltantes de pedidos anuales

D =Demanda anual

Qo= Cantidad optima a pedir

El **Modelo de ciclo de tiempo fijo y cantidad de pedido variable** los ciclos de abastecimiento están reconocidos por periodos preestablecidos. El periodo o frecuencia puede ser semanal, quincenal, mensual o en función de los requerimientos de la empresa, esto como la política que se tiene implantada. Cabe recalcar que el tamaño de la orden es cambiante en cada ciclo para absorber las fluctuaciones del consumo en cada periodo, y la cantidad de materiales calculada para el periodo de abastecimiento se aumenta con una cantidad prudentemente calculada de reserva. Además, se puede estimar visiblemente que las fracciones a pedir son desiguales en cantidad. (Pérez & Boubeta, 2010)

En el Inventario de Seguridad: Este inventario se mantiene constante por si se presenta un agotamiento de existencias durante el ciclo

$$I. S. (\beta) = \sigma Z \sqrt{\frac{L+Y}{T}} \quad (7)$$

L: Tiempo de entrega expresado en unidades

T: Tiempo considerado para el pronóstico expresado en unidades

; Tiempo de revisión o tipo de revisión expresado en unidades

Z: Valor de las tablas de la normal, en base al nivel de servicio

En el Modelo de la cantidad económica del lote de producción, también llamado en inglés como Economic Production Quantity (EPQ); es un modelo matemático enfocado para control de inventarios que desarrolla una cantidad económica de encargo a una tasa finita de producción. (Moskowitz, Wright, & Otlavaro, 1982). El modelo fue expresado inicialmente por E. W. Taft en 1918. Se precisa la tasa de producción, P, como el número de unidades producidas en un periodo de tiempo generalmente un año.

La fórmula que define el modelo es:

$$I = \frac{Q}{P}(P - D) = Q \left(1 - \frac{D}{P}\right) \quad (8)$$

El Sistema de clasificación de inventario ABC es conocido por ser muy fácil de usar por cuanto es un sistema de clasificación que continuamente a la hora de bosquejar la distribución óptima de inventarios en almacenes es puesto en práctica. (Heizer & Render, 2004). Su intención es optimizar la colocación de los productos de forma que los más requeridos se hallen al alcance y de esta forma reducir tiempos y aumentar la eficiencia en la empresa. (Hansen & Mowen, 2003).

Artículos de tipo A: Se representan a los más significativos (los usados, vendidos o urgentes).

Artículos de tipo B: Son los que se consideran de menor importancia o de una importancia secundaria.

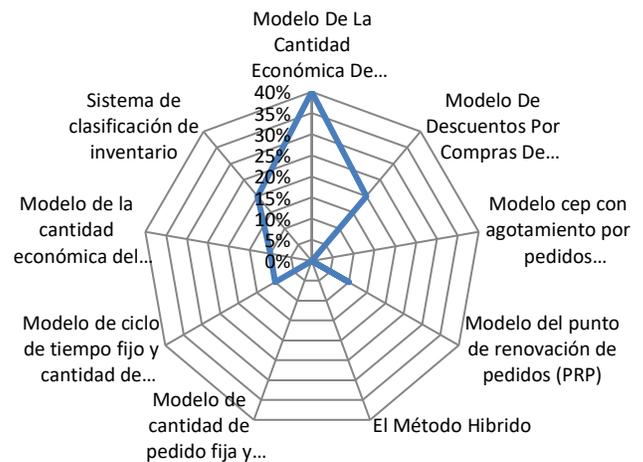
Artículos de tipo C: Son aquellos que carecen de importancia. Muchas veces poseer en el almacén cuesta más dinero que el beneficio que aportan.

El modelo ABC proporciona mayor exactitud en la identificación de los costos de las empresas y admite la visión de la misma por actividad, concibiendo por actividad.

II. MÉTODO

La presente investigación en su primera fase es de tipo descriptiva, en la que se plantea una encuesta piloto mediante un cuestionario de tipo estructurado no disfrazado con preguntas abiertas y cerradas con el objetivo de identificar el principal modelo utilizado por las microempresas del sector textil de la ciudad de Riobamba. El cual se efectuó a 10 gerentes o propietarios de las microempresas. Para con ellos tabular la información levantada y lograr identificar qué modelo de inventarios es el más utilizado dando como resultado que es el “modelo de la cantidad económica de pedido” como se puede observar en la figura 1

Figura 1: Uso de los modelos de inventarios



Elaborado por: Los Autores.

Se identifica que las microempresas del sector textil no utilizan un modelo de gestión de inventarios delimitado y que los utilizados son de forma empírica, cabe recalcar que las directrices utilizadas para la ejecución de esta actividad concuerdan con el modelo identificado que es modelo de la cantidad económica de pedido.

En la segunda fase se utiliza una investigación exploratoria mediante la realización de una encuesta estructurada no disfrazada con preguntas basadas en la escala de Likert con un rango de 1 a 5.

Para la identificación de la muestra se va a utilizar el universo por cuanto es de 52 microempresas del sector textil de la ciudad de Riobamba los cuales fueron determinados por observación directa por no contar con una fuente primaria.

Se pudo identificar en la encuesta piloto que el modelo de la cantidad económica de pedido es el que se maneja por cuanto a facilidad de empleo por las microempresas, de lo cual se plantean factores para el estudio en función de este y estos son:

Tabla 1: Factores de estudio

Gestión de inventarios	Manejo estratégico	Aceptación de los Clientes
		Costos ordenar
		Calidad
	Costo de mantener inventario	Instalaciones
		Volumen de Reposición
Toma de Decisiones	Estrategias	Rotación de inventarios
		Mercado
		Teoría de restricciones
	Producción	Producto para mercado emergente
		Capacidad
		Productividad
		Eficiencia

Elaborado por: Los Autores

Estos factores presentados son los delineamientos en los que se efectúa la encuesta para posteriormente identificar cuál de ellos son los más relevantes para la realización del diseño de gestión de inventarios para las microempresas del sector textil de la ciudad de Riobamba.

Coefficiente de Alfa de Cronbach

Para validar la encuesta efectúa se realiza con el coeficiente de Alfa de Cronbach la cual proporciona un valor que va desde cero y uno. (12)

$$\alpha = \left| \frac{k}{k-1} \right| * \left| 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right| \quad (9)$$

Dónde:

K= Número de ítems

$\sum S_i^2$ = Suma de las variables de cada ítem

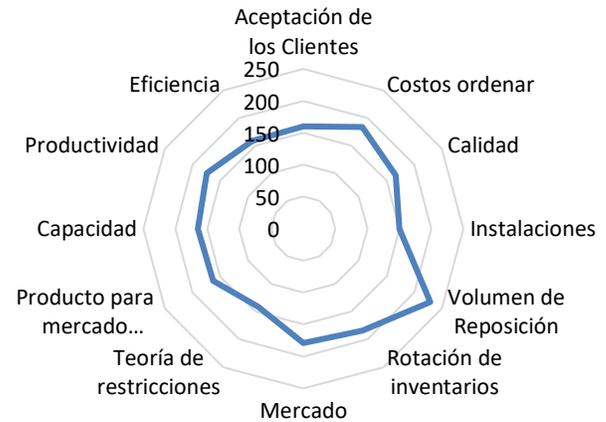
S_T^2 = Varianza Total

$$\alpha = \left| \frac{12}{12-1} \right| * \left| 1 - \frac{18,66}{11,27} \right| \quad (10)$$

$$\alpha = 0,71$$

El margen de confiabilidad que se tiene es de $\alpha = 0,71$ lo cual representa que la consistencia interna de la encuesta es buena y así mismo los resultados de ella procedan.

Figura 2: Factores preponderantes



Elaborado por: Los Autores.

Como se puede identificar en la figura 2, el factor que más relevancia posee es el volumen de reposición el cual es de suma importancia al momento de la gestión en los inventarios ya que esta nos ayuda al reconocimiento de la cantidad exacta de materias que se requieren. Así mismo los costos ordenar, la rotación de inventarios y el mercado son factores que se tomaran en consideración para la diseño de la gestión de inventarios considerando además los factores propuestos.

Matriz de correlación

A fin de reconocer la correlación que poseen las variables que se planeó y se identificado se efectúa el cálculo de los coeficientes de correlación simples para cada combinación de pares de variables.

Tabla 2: Matriz de correlación

	Los Clientes	Costos	Ordenar	Calidad	Instalaciones	Volumen de	Rotación de	Rotación de	Teoría de	Producto para	Capacidad	Productividad	Eficiencia
Acceptación de los Clientes	1												
Costos ordenar	0,8570	1											
Calidad	0,9943	0,8792	1										
Instalaciones	0,9236	0,9384	0,9110	1									
Volumen de Reposición	0,8542	0,7179	0,8906	0,6933	1								
Rotación de inventarios	0,0806	0,4048	0,1804	0,1137	0,4389	1							
Mercado	0,0662	-0,4276	0,0400	-0,2475	0,2518	-0,3709	1						
Teoría de restricciones	0,4277	0,8235	0,4858	0,6036	0,3878	0,6950	-0,7871	1					
Producto para mercado emergente	-0,1127	-0,5043	-0,1176	-0,3806	0,2148	-0,1314	0,9351	-0,7335	1				
Capacidad	0,3085	-0,1713	0,3010	-0,0441	0,5090	-0,1976	0,9488	-0,5671	0,8546	1			
Productividad	0,6971	0,3922	0,6563	0,6234	0,6663	-0,1778	0,5023	-0,1325	0,4324	0,5538	1		
Eficiencia	0,6267	0,4162	0,5417	0,6880	0,1958	-0,6344	0,0694	-0,0494	-0,1824	0,0798	0,6459	1	

Elaborado por: Los Autores.

Como se puede identificar en la tabla 2 los siguientes resultados:

- La variable aceptación de los clientes está correlacionada positivamente con las variables costos por ordenar, calidad, instalaciones, volumen de reposición, rotación de inventarios, mercado, capacidad, productividad y eficiencia considerando que esta relación menciona que si crece la variable analizada también crecerá la variable muestra. Además, esta correlacionada negativamente con Producto para mercado emergente.
- La variable costos por ordenar está correlacionada positivamente con las variables calidad, instalaciones, volumen de reposición, rotación de inventarios, teoría de restricciones, productividad y eficiencia. Así también esta correlacionada negativamente con mercado y producto para mercado emergente.
- La variable calidad está correlacionada positivamente con las variables instalaciones, volumen de reposición, rotación de inventarios, mercado, capacidad, productividad y eficiencia. Así también esta correlacionada negativamente con producto para mercado emergente.
- La variable instalaciones está correlacionada positivamente con las variables volumen de reposición, rotación de inventarios, teoría de restricciones, productividad y eficiencia. Así también esta correlacionada negativamente con mercado, producto para mercado emergente y capacidad.
- La variable volumen de reposición está correlacionada positivamente con las variables rotación de inventarios, mercado, teoría de restricciones, producto para mercado emergente, capacidad, productividad y eficiencia.
- La variable rotación de inventarios está correlacionada negativamente con las variables mercado, teoría de restricciones, producto para mercado emergente, capacidad, productividad y eficiencia.
- La variable mercado está correlacionada positivamente con las variables producto para mercado emergente, capacidad, productividad y eficiencia. Así también esta correlacionada negativamente con teoría de restricciones.
- La variable teoría de restricciones está correlacionada negativamente con las variables producto para mercado emergente, capacidad, productividad y eficiencia.
- La variable producto para mercado emergente está correlacionada positivamente con las capacidad y productividad. Así también esta correlacionada negativamente con eficiencia.
- La variable capacidad está correlacionada positivamente con las variables productividad y eficiencia.
- La variable productividad está correlacionada positivamente con las variables Eficiencia.

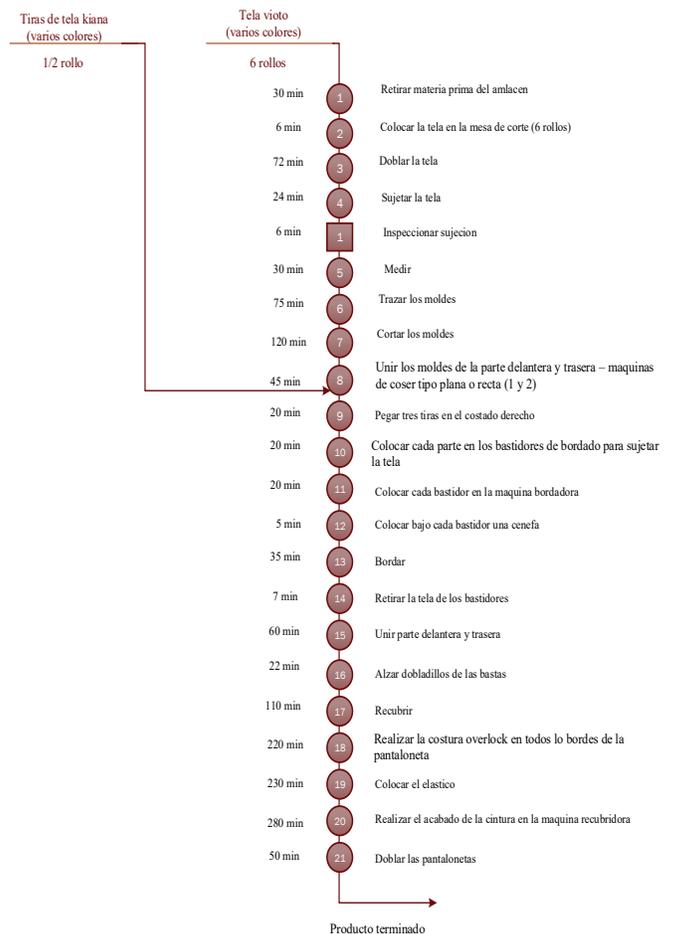
Con lo que se puede plantear que los factores propuestos para la realización de la gestión de inventarios tienen una base sólida en la que se estructura.

Diagrama de operaciones de procesos

Considerando que la investigación requiere de información para delimitar las actividades que requieren de abastecimiento en el proceso de producción, se utilizan diagramas de proceso como se aprecia en la figura 3, en este caso se analiza la fabricación de pantalones jean denim.

El diagrama esquematiza presenta cada transformación del material y los puntos de abastecimiento, entregando una información de las etapas en la que se encuentra y a su vez proporciona las necesidades de requerimiento del suministro de partes y piezas para el conjunto.

Figura 3: Diagrama de Operaciones de procesos



Elaborado por: Los Autores.

La producción de un lote de producción tiene 21 operaciones con un total de 1475 minutos y una inspección de 6 minutos como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Resumen

Resumen:			
	(min)	(h)	
○	21	1475	24,58
□	1	6	0,1
Total:			24,68

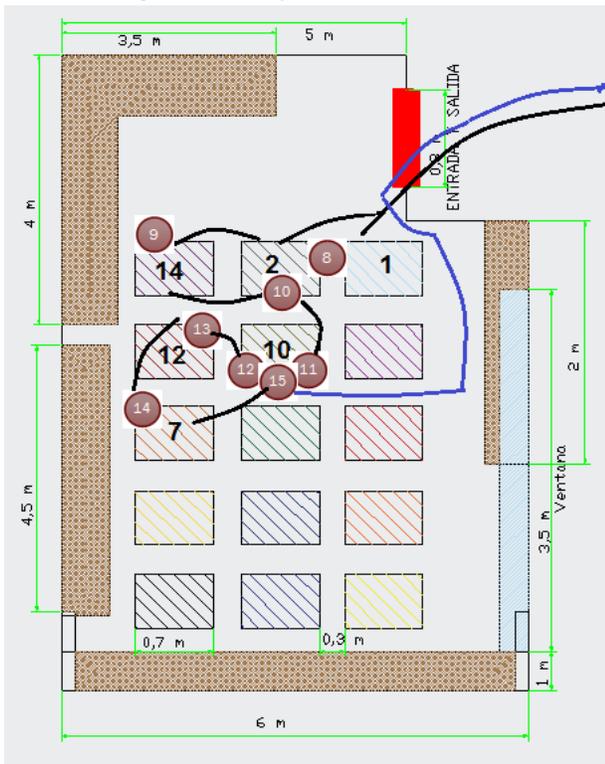
Elaborado por: Los Autores.

Una vez determinado el proceso estandarizado de la línea de pantalones jeans denim, se debe establecer que recorrido tienen las operaciones.

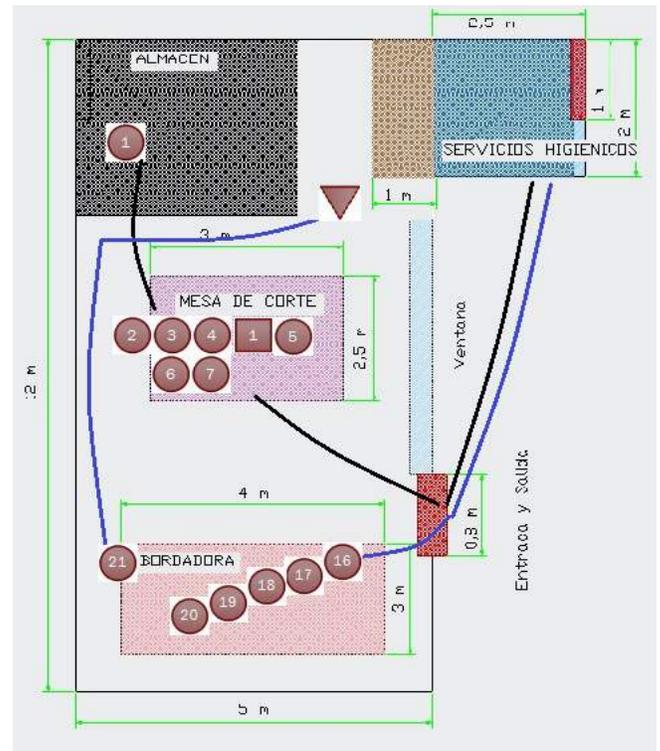
Diagrama de Recorrido

Parte de la toma de decisiones es la ubicación de las fuentes de abastecimiento, para ello se generan diagramas de recorrido que generen la optimización de los transportes de materias primas, minimizando tiempos de traslado y distancias.

Figura 4: Diagrama de Recorrido



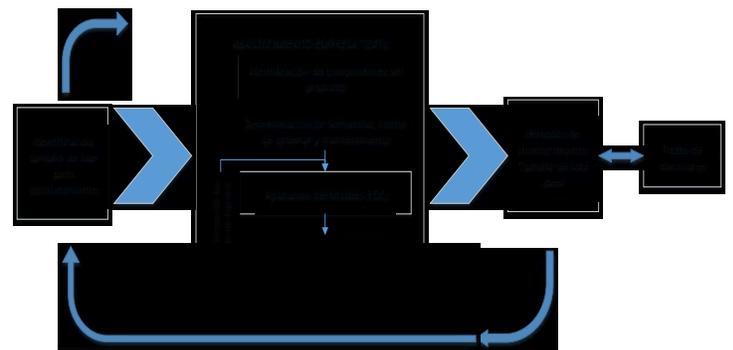
Elaborado por: Los Autores



III. RESULTADOS

Con lo expuesto se planteó el diseño de la gestión de inventarios para las microempresas del sector textil para la toma de decisiones, el mismo que está planeado en función del modelo de la cantidad económica de pedido, identificado a través de la figura 5.

Figura 5: Gestión de inventarios en microempresas del sector textil para la toma de decisiones



Elaborado por: Los Autores

El presente modelo tiene como principal requerimiento, la identificación del tamaño del lote para abastecimiento, con lo cual en los procesos de producción de las microempresas del sector textil se busca realizar la identificación de componentes del producto llegando a

determinar la demanda, el costo de ordenar y de mantenimiento, con esto se puede aplicar el modelo de la cantidad económica de pedido logrando identificar los errores en el inventario mediante la corrección de los datos ingresados obteniendo el periodo de abastecimiento y tamaño de lote ideal con lo cual la empresa tiene una información sólida para la adecuada toma de decisiones en función de las necesidades de la microempresa.

IV. DISCUSIÓN

El modelo de la cantidad económica de pedido es el más utilizado por las microempresas del sector textil por su facilidad de uso, simplicidad en el momento de efectuar las actividades designadas.

Uno de los factores preponderantes es el volumen de reposición está posee una correlacionada positiva con la rotación de inventarios, mercado, teoría de restricciones, producto para mercado emergente, capacidad, productividad y eficiencia, el cual sirve de pilar para el diseño de la gestión de inventarios.

V. CONCLUSIONES

- Se diseñó una adecuada gestión de inventarios en las microempresas en el sector textil para la toma de decisiones en función de 12 factores (aceptación de los clientes, costos por ordenar, calidad, instalaciones, volumen de reposición, rotación de inventarios, mercado, teoría de restricciones, producto para mercado emergente, capacidad, productividad y eficiencia).
- Con el estudio presentado se identificó que las microempresas del sector textil de la ciudad de Riobamba poseen ciertas debilidades en cuantos a los factores de estudio propuesto por cuanto las organizaciones no manejan un modelo de inventarios definido y que utilizan empíricamente según las necesidades de los mismos.
- Además, los métodos utilizados están enfocados a un proceso gerencial para administrar las actividades y procesos del negocio, permitiendo que sea dirigido y manejado por los propietarios.
- Se identifica que el modelo de la cantidad económica de pedido es más utilizado por su simplicidad, amplia aplicabilidad y es la base para modelos más avanzados.

- El diseño de la gestión de inventarios planteado es una herramienta óptima para las microempresas del sector textil de la ciudad de Riobamba, que buscan ser cada vez más competitivas en el mercado y lograr un posicionamiento en el mismo. Además, facilita la organización y logística de las mercaderías y bienes que posee la misma.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Cañabate Carmona, A. (1997). *Toma de decisiones: análisis y entorno organizativo*. Madrid: EDICIONES UPC.
- Causado, E. (2015). Modelo de inventarios para control económico de pedidos en empresa comercializadora de alimentos. *Ingenierías*, 15.
- Chapman, S. (2006). *Planificación y control de la producción*. México D.F.: Pearson Educación.
- Duarte, M., & Rafael, M. (2008). Estudos psicométricos do Inventário de Preocupações de carreira. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación - e Avaliação Psicológica*, 13-30. Obtenido de <http://w.redalyc.org/articulo.oa?id=459647347002>
- Fajardo, J., & Garzón, R. (2014). *Inventario de Seguridad*. Obtenido de Emaze: <https://www.emaze.com/@ALRZOFQI/INVENTARIOS-DE-SEGURIDAD>
- Flamarique, S. (2017). *Gestión de operaciones de almacenaje*. Barcelona: MARGE BOOKS.
- George, D., & Mallery, P. (1995). *SPSS/PC+ Step by Step: A Simple Guide and Reference*. Belmont : Wadsworth Publishing Company.
- Gutiérrez, J. P. (2012). Determinación de la cantidad económica de pedido en una empresa cauchera venezolana aplicando la técnica LIMIT. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 61-72. Obtenido de <http://w.redalyc.org/articulo.oa?id=215026158008>
- Hansen, D., & Mowen, M. (2003). *Administración de costos*. Mexico: Latin America.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones*. México D.F.: Pearson Educación.
- INEC. (10 de Enero de 2013). Proyección de población por provincias 2010-2020. Quito.
- Izar, J., Ynzunza, C., & Sarmiento, R. (2011). El método Híbrido, técnica realista para optimizar el costo del inventario. *Academia de Ciencias Administrativas*, 18.

- Landeta, J. I., Cortés, C. Y., & Rebeles, R. S. (2012). Determinación del costo del inventario con el método Híbrido. *Conciencia tecnologica*, 44.
- Moskowitz, H., Wright, G., & Otalvaro, F. (1982). *Investigación de operaciones*. España: Prentice Hall.
- Muñoz Negrón, D. (2009). *Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios*. México D.F.: Cengage Learning Editores.
- Ortega-González, G. (2016). Comparación entre dos modelos de valoración de empresas mediante descuento de flujos de caja. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 7-22. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409646647002>
- Pérez, M., & Boubeta, A. (2010). Introducción a la gestión de stocks: El proceso de control, valoración y gestión de stocks. *Ideaspropias Editorial SL.*, 12.
- Presidencia de la República de Ecuador. (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2007 - 2010*. Quito.
- Ríos, F., Martínez, A., Palomo, T., S.Cáceres, & Díaz, M. (2008). Inventarios probabilísticos con demanda independiente de revisión continua, modelos con nuevos pedidos. *Ciencia Ergo Sum.*, 251-258. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10415303>
- Rolleri, J. (2013). Qué son los modelos físicos. *Redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360335553013>
- San Fabian Maroto, J. L. (1993). *Percepción de la escolaridad por el alumnado al final de la E.G.B.* Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia.
- Silva Arciniega, M. d., & Brain Calderón, M. L. (2006). *Validez Y Confiabilidad Del Estudio Socioeconomico*. México D.F: UNAM.
- Solano, J. (1998). *Administración de Empresas*. Bucaramanga.
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Zapata, J. (2014). *Fundamentos de la Gestión de Inventarios*. Medellín: Esumer.

del vehículo fórmula SAE

Olga Barrera Cárdenas¹, Celin Padilla Padilla², Juan Rocha Hoyos³,
Edilberto Llanes Cedeño⁴, Luis Buenaño Moyano⁵
^{1,2,5} Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador
^{3,4} Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador

*Olga.barrera@esPOCH.edu.ec, c_padilla@esPOCH.edu.ec, carlos.rocha@uisek.edu.ec,
antonio.llanes@uisek.edu.ec, lfbuenanio@esPOCH.edu.ec*

Resumen

El proyecto realiza un estudio dinámico del funcionamiento de una suspensión de un vehículo Fórmula SAE, se analiza las propiedades mecánicas de la mangueta mediante simulación en un sistema MEF y matemático para determinarse la optimización de la masa no suspendida. Se consideró estudios similares en los que se analiza concentración de esfuerzos, deformaciones y comportamiento de materiales distintos aplicado a dicho componente. En este estudio se plantea iniciar con la modelación de cada uno de los elementos y ensamble en el software Siemens NX, y el análisis se lo realiza en el software de simulación, iniciando con el pre procesamiento en que varía el tamaño y calidad de mallado, asigna restricciones y condición de entorno, se realiza la simulación y post procesamiento, presentando los resultados *comparativos entre ansys y simulink* se tiene respecto a la velocidad hay una diferencia del 13,81% y de la aceleración una variación de 2,91%, esto se puede considerar como aceptable ya que en el programa de simulink no se puede considerar el tipo de material que cada elemento del sistema de suspensión tiene y tampoco el rozamiento o fricción que tienen los elementos en contacto.

Palabras Claves

Suspensión, Mangueta, Análisis dinámico, esfuerzos, simulación.

Abstract

The project performs a dynamic study of the operation of a suspension of a vehicle SAE Formula, the mechanical properties of the pivoting wheel carrier are analyzed by simulation in a MEF and mathematical system to determine the optimization of the non-suspended mass. Similar studies were considered in which the concentration of stresses, deformations and behavior of different materials applied to say component is analyzed. In this study we are proposed to start with the modeling of each of the elements and assembly in the Siemens NX software, and the analysis is carried out in the simulation software, starting with the pre-processing in which the size and quality of the meshing, assigns constraints and environmental condition, simulation and post-processing is performed, presenting the comparative results between ansys and simulink, with respect to speed there is a difference of 13.81% and acceleration a variation of 2.91% , this can be considered as acceptable since in the Simulink program it is not possible to consider the type of material that each element of the suspension system has and also the friction or friction that the elements in contact have.

Index Terms

Suspension, pivoting wheel carrier, dynamic analysis, strain, simulation.

I. INTRODUCCIÓN

La función del sistema de suspensión es la de garantizar el confort al piloto de vehículo de la Fórmula SAE, además estabiliza su trayectoria y absorbe las irregularidades de la vía. Su principio de funcionamiento se basa en imponer entre masas suspendidas y no suspendidas varios elementos elásticos y de amortiguación (Martín, 2016). En estos vehículos de carreras, se debe enfocar en el estudio de estas prestaciones con el objetivo de tener una máxima tracción de los neumáticos (Fornace, 2006). Este sistema de suspensión está compuesto por amortiguador, barra Push, rocker, mesa superior, mesa inferior, barra estabilizadora y mangueta (Taday & Arellano, 2016).

El problema generado en el vehículo Fórmula SAE tiene relación con el peso de la mangueta, fiabilidad, por lo que se requiere comprobar e identificar mediante un análisis dinámico computacional utilizando software de Métodos de Elementos Finitos (MEF), los esfuerzos, comportamiento de fatiga, utilizando material de fácil adquisición en el mercado nacional.

Para la fabricación de autopartes de vehículos existe gran variedad de materiales, depende de las características de la pieza, requerimientos, trabajo a realizar y otros factores específicos. El uso de materiales más ligeros en el sistema de suspensión ayuda a mejorar la calidad de conducción, y optimizar el rendimiento del vehículo. En la actualidad se utiliza en gran parte el acero forjado o dúctil fundido, pero este material es voluminoso y pesado. Por esta razón se vio la necesidad de buscar otro tipo de material como las aleaciones de aluminio ya que tiene alta resistencia – peso, resistencia a la corrosión, naturaleza dúctil, y principalmente propiedades de peso ligero y viabilidad económica (Siddesh , Avjot , Sagar , Shashank , & Ashok , 2015). En la fabricación de automóviles, el aluminio es usado en la fabricación de mayor número de autopartes, ya que por su naturaleza ligera y resistente implica en la reducción de peso. Es usado en la fabricación de paneles de la carrocería, bocks de cilindros, cajas de velocidades entre otros. No son tan duraderos como el hierro, pero su peso ligero significa una gran ventaja en el rendimiento del vehículo (Castella, 2015).

Uno de los tipos de aluminio más usado para la fabricación de piezas es el Duraluminio (Prodax), el cual está cumpliendo con las expectativas al momento de exigir los requerimientos necesarios y además la facilidad de encontrar este tipo de material en nuestro medio (Ivan Bohman C. A., 2017). Las características de este material

es la de ser ligero, alta resistencia, laminado en caliente y con gran dureza ya que son tratadas térmicamente (Pérez , 2010)

Densidad kg/m ³ lbs/pulg ³	2830 0,102
Módulo de elasticidad N/mm ² PSI	71 500 10,3 x 10 ⁶
Coefficiente de expansión térmica por °C de 20 °C a 100 °C por °F (68 - 212 °F)	23 x 10 ⁻⁶ 12,8 x 10 ⁻⁶
Conductibilidad térmica W/m °C Btu pulg/pie °F	165 1 144
Calor específico J/Kg °C Btu/lb °F	890 0,20

Figura 1. Propiedades Físicas Duraluminio (Prodax). Fuente (Ivan Bohman C. A., 2017)

En la investigación realizada por Lee, Raumont, & Villaire (Lee, Raymond, & Villaire, 1995), utiliza una metodología de evaluación automática de fatiga llamada CAE-FATIGUE en combinación con el historial de tiempos de carga y análisis de Elementos Finitos, determina la vida de fatiga, pudiendo determinar las interacciones de diseño y costo del prototipo, además extrae automáticamente tensiones directamente.

En la publicación de Dusane, Dipke, & Kumbhalkar (Dusane, Dipke, & Kumbhalkar, 2016) detectaron una falla en la mangueta, realizan una modificación y optimización del rendimiento. Primero crean un modelo 3D y posteriormente un análisis estático, simulando en condiciones operativas y aplicando un material de aluminio 6061-T6. Se consiguió modificar el diseño, bajando la fatiga y manteniendo la tensión máxima, además se determinó que el material utilizado es óptimo debido a sus buenas propiedades físicas y mecánicas.

En el trabajo realizado por Kunal , Pranav , & Rushikesh (Kunal , Pranav , & Rushikesh , 2014), se realiza un diseño para la mangueta y cubo de dirección, con el objetivo de reducir el peso, maximizar el rendimiento y proporcionar un diseño rígido. Se introdujo cargas aplicadas al modelo, teniendo en cuenta las limitaciones en la articulación de la rótula superior e inferior y los puntos de anclajes de la dirección. Se implementó el modelo de tensiones y optimización de parámetros. Al final el resultado fue la optimización reduciendo en un 22% el peso de estos elementos.

La investigación realizado por Samant , et al. (Samant , et al., 2015) sobre el diseño del sistema de suspensión para un vehículo de carreras Fórmula SAE, mediante un procedimiento que involucra la cinemática, el análisis dinámico y análisis de vibración en un sistema de suspensión Push Rod. Se obtuvo un análisis aproximado debido a la presencia de articulaciones esféricas en el sistema de suspensión real. El procedimiento propuesto, el análisis cinemático se realizó mediante el método gráfico tridimensional y el cambio en la alineación de las ruedas se representó con el recorrido de la rueda.

II. METODOLOGÍA

Para la solución de la problemática planteada, se desarrolla el análisis dinámico de la mangueta del vehículo Fórmula SAE, utilizando software de elemento finitos, para poder determinar el grado de confiabilidad y durabilidad del material seleccionado, en base a la secuencia de la figura 2.

Sistema de modelado CAD (Siemens NX)	<p>Construcción del modelo de suspensión</p> <p>Dibujo de los elementos Ensamble del sistema de suspensión</p>
Análisis por el Método de Elementos Finitos (Ansys Workbench)	<p>Pre procesamiento</p> <p>Carga del modelo CAD Definición de propiedades de Materiales Generación de mallado Asignación de restricciones Definición de condiciones de entorno Configuración del analisis</p>
	<p>Análisis</p> <p>Tipo de mallado Esfuerzos actuantes en la mangueta</p>
	<p>Pos procesamiento</p> <p>Comportamiento de la suspensión</p>
Modelo matemático	<p>Cálculo</p> <p>Modelo del funcionamiento del sistema de suspensión en Matlab - Simulink</p>
Comparación de resultados	<p>Resultados</p> <p>Desplazamiento Velocidad Aceleración</p>

Figura 2. Flujo de proceso del proyecto propuesto.

En el análisis dinámico que se desarrollará en el software de elementos finitos, se podrá determinar el comportamiento, tensiones y deformaciones actuantes de la mangueta. A continuación, se describe el tipo de investigación, el método, la metodología a utilizar.

Geometría de la suspensión

El sistema de suspensión del vehículo Fórmula SAE consta de dos mesas de suspensión acopladas por un extremo al chasis y por el otro a la mangueta. Una barra Push transmite el movimiento desde la mesa inferior al rocker, y este a su vez lleva el movimiento al amortiguador, como lo indica la figura 3.

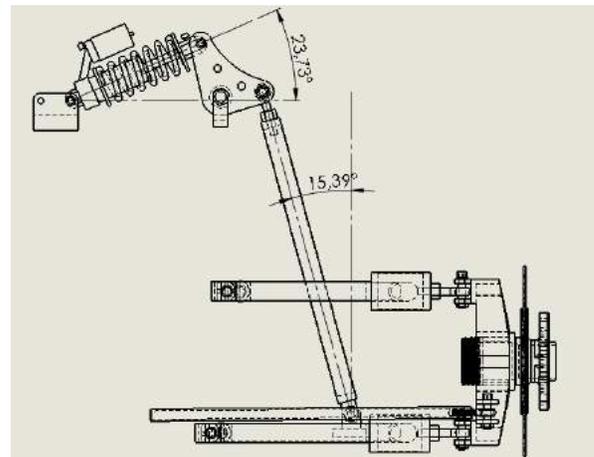


Figura 3. Esquema geométrico suspensión Fórmula SAE.

Cálculos Previos para la simulación

Distribución de masa en el Vehículo Fórmula SAE en el eje delantero y posterior, necesarios para la simulación, se utiliza la fórmula de sumatorio de momentos en el punto A del eje delantero y punto B del eje posterior, ver la Figura 4.

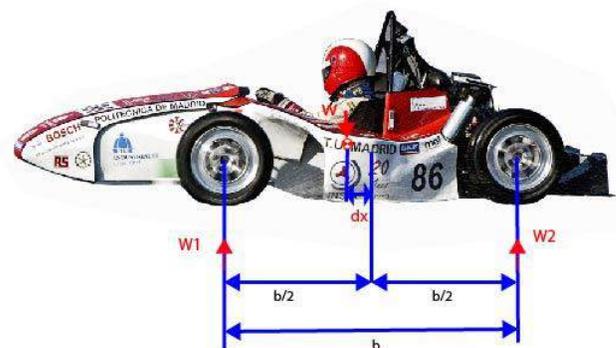


Figura 4. Longitudes de la batalla y el centro de gravedad. Fuente (Taday & Arellano, 2016)

Modelamiento de la Suspensión

Se crean los elementos que componen el sistema de suspensión del vehículo Fórmula SAE, asignando el tipo

de material, posteriormente se realizará un ensamble de sistema para poder realizar el análisis dinámico.

Según el trabajo de titulación realizada por Taday & Arellano (2016) para diseñar la suspensión se realizaron las siguientes consideraciones:

- La geometría del chasis para ubicar los extremos de los brazos de suspensión, el eje donde se alojará el rocker y el amortiguador.
- El ancho de vía para determinar las dimensiones de los brazos de suspensión y la inclinación de la barra Push.
- El diámetro del neumático para ubicar su centro y saber la altura del centro de la mangueta.
- La mangueta para determinar la ubicación de los terminales de los brazos de suspensión.
- La altura a la que se debe encontrar el chasis del suelo para dimensionar los brazos.
- Las dimensiones del amortiguador para diseñar los rocker delanteros y posteriores.
- La distancia entre ejes para ubicar la suspensión en cada neumático y evitar que tenga contacto con los componentes de la dirección.
- La masa del vehículo para distribuirla a los 4 neumáticos.
- La ubicación del centro de gravedad, velocidad del vehículo y radio de giro para realizar los cálculos.

Se crea cada uno de los elementos y ensamble del sistema de suspensión en el software Siemens NX, por su facilidad en su manipulación como se puede ver en la figura 5.



Figura 5. Ensamble total de la suspensión en NX. Fuente (Propia)

Mallado del sistema

Para una buena convergencia de la solución se debe tener muy en cuenta la calidad de mallado del modelo consiste en discretizar o dividir los elementos modelados, para realizar los cálculos y solución de ecuaciones, con el objetivo que la solución sea real y que no genere mucho peso computacional.

Para realizar el mallado existen diversos métodos, Se ha decidido utilizar elementos tipo tetraédrico ya que son más utilizados en análisis estructurales, se muestra en la figura 6.

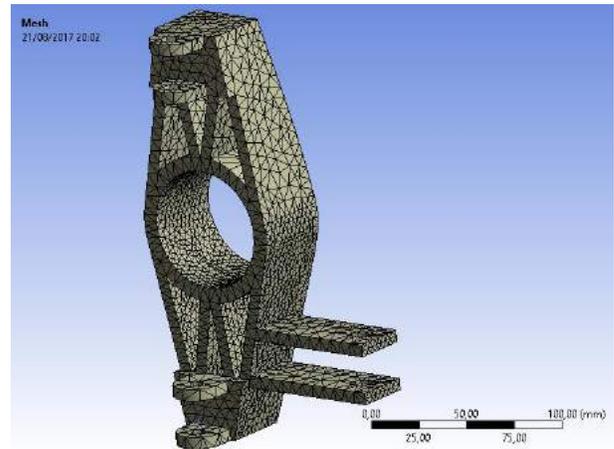


Figura 66. Mallado en dos partes de la mangueta. Fuente (Propia).

Para el análisis se aplico varios tipos de mallado, el primero se utilizará el mallado que recomienda el software, en el segundo análisis se realizara una alisado al mallado generado automáticamente, el tercer análisis ya se asigna un mallado específico a toda la mangueta, en el cuarto análisis la mangueta se la divide en dos partes y cada una de ellas tendrá su propio tamaño de mallado, y en el quinto análisis, se cambiará el tamaño de mallado en distintas caras de la mangueta, haciendo un mallado más fino a las áreas en donde más tensiones va a soportar, en la figura 7, se indica varias zonas de la mangueta consideradas con distinto tamaño de mallado.

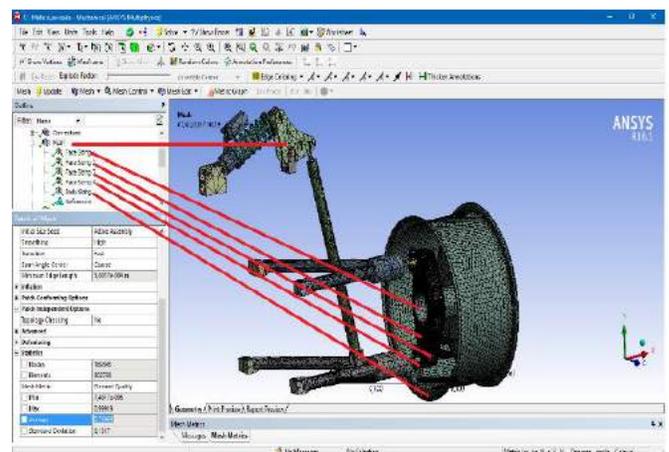


Figura 7. Criterio de optimización de mallado del sistema. Fuente (Propia).

Análisis Dinámico

Para el análisis dinámico por el método de elementos finitos del sistema de suspensión delantera del vehículo Fórmula SAE se ha considerado varios aspectos, para la realización de los respectivos cálculos, se especifica detalles técnicos, ver tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas vehículo Fórmula SAE

Detalle del vehículo	Valor
Tracción	Trasera
Suspensión	Push - Rod
Amortiguador	Gas y muelle incorporado
Neumático	165 / 55 R13
Distancia entre ejes delantero	663,26 mm
Peso total del vehículo	340 kg
Velocidad máxima	75 km / h
Aceleración de 0 a 100 km/h	3 segundos

Para los parámetros iniciales se asigna los materiales a cada uno de los componentes del sistema de suspensión según indica en la tabla 3 y el ingreso en el software Ansys, en la figura 39, se crea los materiales a ser utilizados en cada uno de los elementos del sistema de suspensión.

Se configura las uniones o conexiones, rotaciones, puntos fijos o deslizamientos, esto se debe tomar muy en cuenta ya que una mala configuración generará errores al momento de solucionar el sistema, en la figura 8, se observa la forma de determinar las uniones y condiciones de soldadura o contacto con movimiento entre elementos.

Tabla 2. Asignación de materiales para simulación

Elemento	Material
Mesa inferior	Acero estructural ASTM A500
Mesa superior	Acero estructural ASTM A500
Barra Push	Acero estructural ASTM A500
Amortiguador	Material compuesto
Resorte del amortiguador	Acero SAE 5160
Mangueta	Aluminio Prodax
Aro	Acero SAE 1020
Rotulas	Acero estructural ASTM A500
Base de anclaje	Acero ASTM A-36
Rocker	Acero ASTM A-36

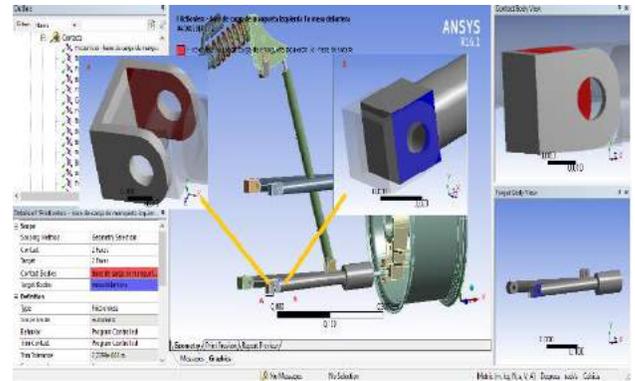


Figura 8. Configuración de contactos para la simulación. Fuente (Propia).

Se configuran las juntas para poder permitir que pueda deslizarse las partes móviles del sistema de suspensión, como se puede ver en la figura 9, se ingresa condiciones de movimiento y de amortiguamiento en los elementos móviles del sistema de suspensión.

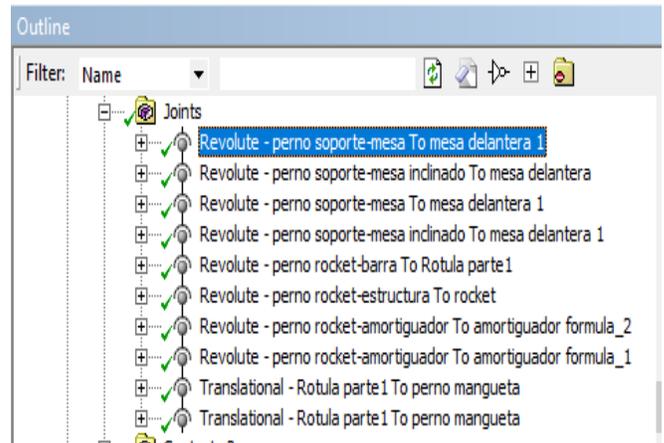


Figura 97. Configuración de juntas. Fuente (Propia).

Se realiza una simulación de la suspensión en el software Matlab, con su paquete Simulink para poder determinar la posición, velocidad y aceleración en el neumático y en el chasis, al momento de pasa por un obstáculo de 0.20 metros de alto como se indica en la figura 10, la configuración del obstáculo a simular en la suspensión.

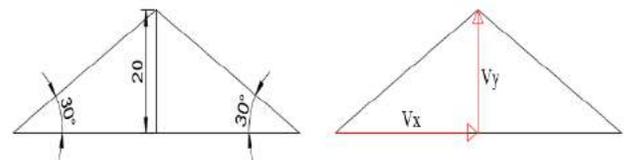


Figura 108. Obstáculo a ser simulado. Fuente (Propia).

Tomando en cuenta el modelo de suspensión con dos grados de libertad tal cual se indica en la figura 11, donde se aprecia la estructura de la suspensión desde el neumático hasta el chasis se puede determinar las siguientes ecuaciones.

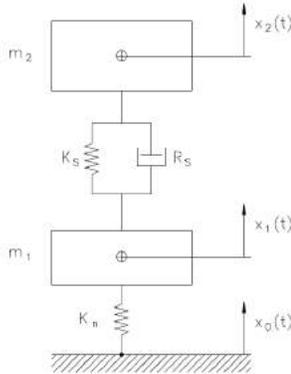


Figura 9. Modelo de suspensión con dos grados de libertad. Fuente (Propia).

Se desarrolla las siguientes ecuaciones basadas en el modelo matemático

$$M \frac{d^2 x_2}{dt^2} = -rs(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_s(x_1 - x_2) \quad (1)$$

$$M \frac{d^2 x_1}{dt^2} = -k_n(x_1 - x_0) - k_s(x_1 - x_2) - rs(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \quad (2)$$

Con estas ecuaciones se realiza la configuración en Simulink de 1/4 de la suspensión como se observa en la figura 12, el diagrama realizado en Simulink de todo el sistema de suspensión.

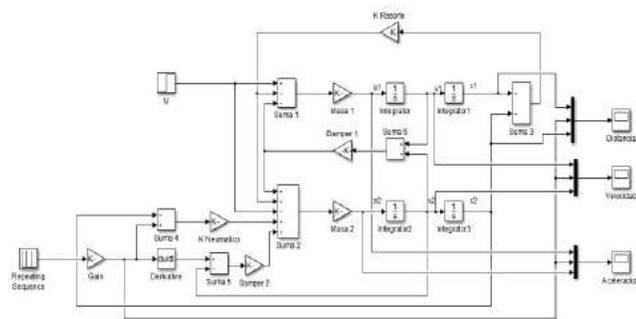


Figura 10. Configuración del sistema de suspensión. Fuente (Propia).

En la tabla 3, indica los valores de: constante elástica del resorte y neumático, peso del 1/4 de la suspensión, coeficiente de amortiguación que son necesarios para el desarrollo del modelo matemático en Simulink.

Tabla 3. Valores a ingresar en el modelo matemático.

Característica	Valor
Fuerza ejercida en el neumático	3213,81 N
Constante elástica del resorte	33375 N/m
Constante elástica del neumático	150000 N/m
Peso del 1/4 de la suspensión	79,97 kg
Coefficiente de amortiguación de la rueda	15,020 N s/m

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del análisis dinámico

Se realiza la solución del sistema de suspensión con las condiciones iniciales descritas anteriormente se tiene diferentes resultados.

Deformación Total.- En las figuras 13, se indica la deformación máxima producida en la mangueta en las distintas condiciones de mallado, se muestra que la deformación máxima dada en la cara de la mangueta, se presenta el resultado de la deformación en la cara de la mangueta.

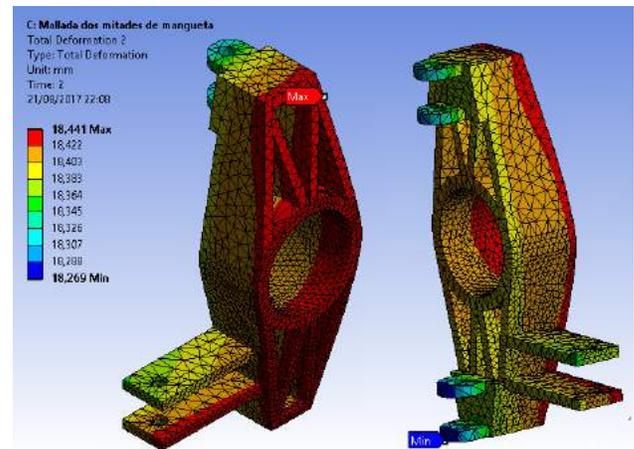


Figura 13. Deformación total de la mangueta mallado personalizado. Fuente (Propia).

Velocidad de la suspensión

En las figuras 14, se indica la velocidad que se genera en el sistema al pasar el obstáculo, en el transcurso del tiempo esta va disminuyendo paulatinamente, indicando que existe amortiguación en el sistema.

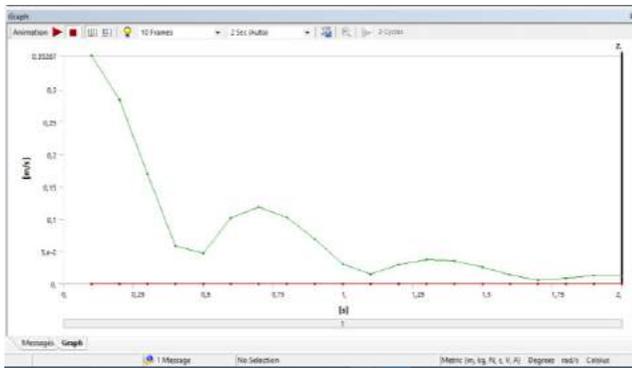


Figura 14. Velocidad de suspensión. Fuente (Propia).

En la simulación indica la aceleración que se produce en el sistema de suspensión, se tiene en valor máximo de iniciando cuando el neumático empieza a subir el obstáculo y esta velocidad baja rápidamente al sobrepasar totalmente dicho obstáculo y posteriormente va desapareciendo a medida que el amortiguador vaya absorbiendo el movimiento de todo el sistema de suspensión, como se observa en las figura 15, la variación de la aceleración en función del tiempo al inicio del obstáculo.

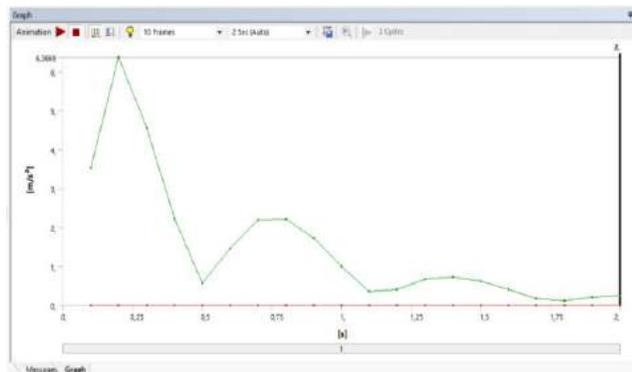


Figura 11. Aceleración de la suspensión. Fuente (Propia).

Para realizar un análisis de esfuerzos aplicados a la mangueta, se debe tener en cuenta otros parámetros que faciliten identificar las zonas vulnerables que pueden causar defecto a este elemento.

Esfuerzo normal principal.- Se obtiene el esfuerzo normal como resultado de la aplicación de la fuerza vertical aplicado en el aro del neumático, en el que se observa que en el área de la horquilla de anclaje de la mesa de suspensión inferior se encuentra el máximo esfuerzo normal, mientras que en la horquilla superior se tiene un esfuerzo normal mínimo cuando la mangueta se mueve en sentido contrario, como se ve en la figura 16, el esfuerzo normal encontrado con un mallado en diferentes caras.

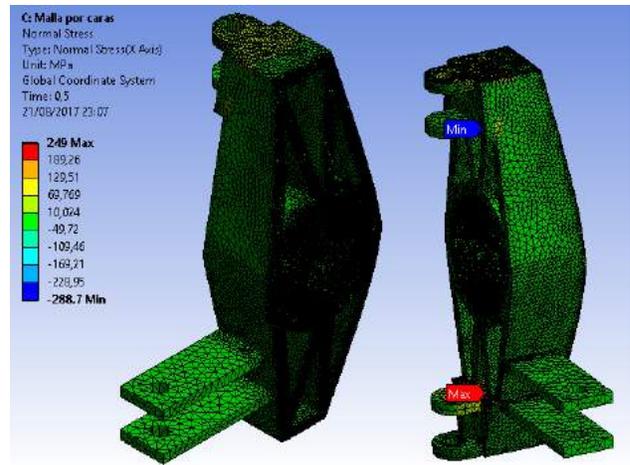


Figura 12. Esfuerzo normal principal máximo y mínimo. Fuente (Propia).

Esfuerzo Equivalente (Von Mises).- Respecto a la deformación elástica se tiene que en la zona de la horquilla superior en donde se halla el máximo esfuerzo equivalente y en la horquilla inferior se encuentra el valor mínimo, como se observa en la figura 17, se indica las zonas de esfuerzos máximo y mínimo de esfuerzo equivalente.



Figura 1713. Esfuerzo equivalente de Von Mises. Fuente (Propia).

Esfuerzo Cortante. Que se aplica como resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal se halla en las horquillas superior e inferior, en la figura 18, se indica los valores mínimos y máximos del esfuerzo cortante.

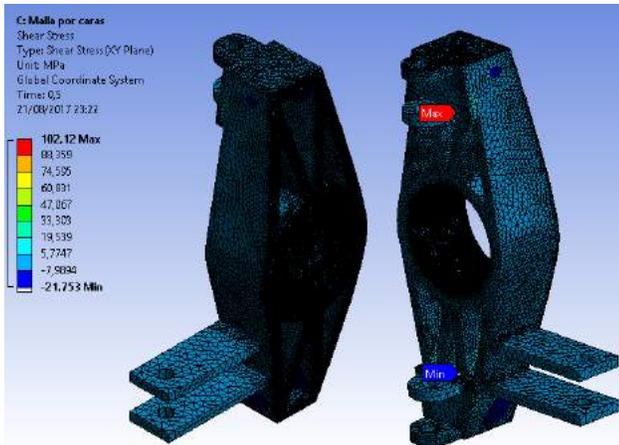


Figura 14. Esfuerzo cortante. Fuente (Propia).

Diferencia Visual de mallado.- La diferencia visual de los elementos de mallado se puede identificar en la solución del sistema, revisando el mesh metric en el que indica el tamaño de los elementos que se tiene en la mangueta, como se puede observar en la figura 19, en el que se indica los diferentes tamaños de elementos.

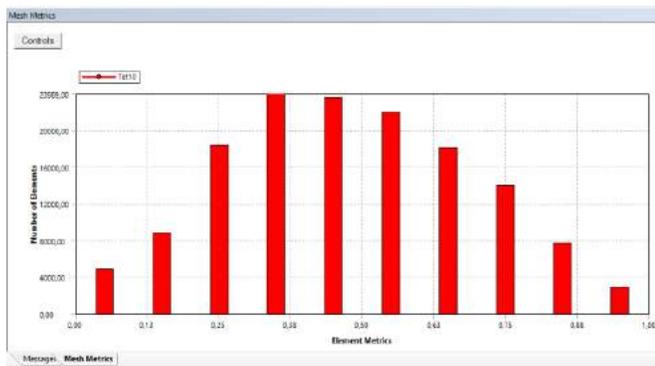


Figura 1915. Tamaño de elementos de la mangueta. Fuente (Propia).

Resultados del modelo matemático

Se realiza la simulación de la velocidad del sistema de suspensión, se puede observar que el chasis tiene una velocidad de amortiguación de 0,3069 m/s y esta se va controlada debido a que tanto el neumático y el amortiguador absorbe la irregularidad del camino. Mientras que la velocidad con la que se mueve el neumático es más irregular debido al obstáculo, como se puede observar en la figura 20, la variación de la velocidad del neumático y chasis del sistema de suspensión de forma amortiguada generada en Simulink.

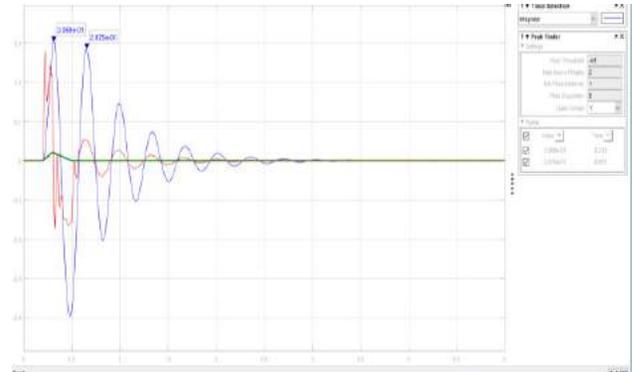


Figura 2016. Velocidad de los elementos de suspensión. Fuente (Propia).

Análisis de resultados

Los resultados de la aceleración como se ve en la figura 21, al pasar el obstáculo, la aceleración en el chasis se incrementa notablemente hasta llegar a un valor máximo de 6,413 m/s² al igual que cuando el neumático pasa totalmente el obstáculo, a continuación, se indica la variación de la aceleración del neumático y chasis del sistema de suspensión de forma amortiguada generada en Simulink.



Figura 2117. Aceleración de los elementos de suspensión. Fuente (Propia).

Se determina que a medida que se va refinando la malla, el número de elementos y nodos a ser solucionado se incrementa, esto indica que los resultados finales van a ser reales, como se puede ver en la figura 22, la indica la tendencia del incremento de nodos y elementos cuando se va refinando la malla de la mangueta.

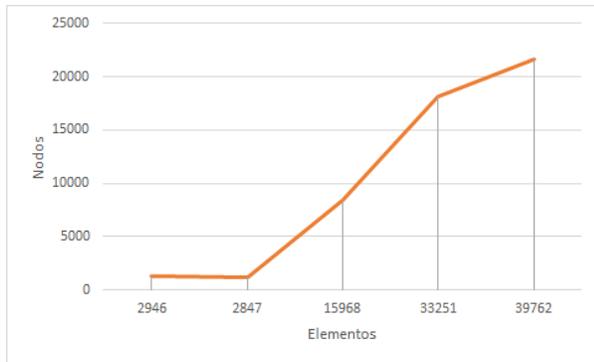


Figura 18. Resultados de la simulación del mallado de la mangueta. Fuente (Propia).

Se determina además que la concentración de tensiones se la realiza en la horquilla de la mesa de suspensión inferior como se puede observar en la figura 23, las tensiones máximas se encuentran en las zonas de unión de las nervaduras superiores y la horquilla de anclaje de la mesa superior e inferior, tomando en cuenta que, en la mesa inferior va acoplada la barra Push y esta al amortiguador, se observa que en esta zona tiene mayor concentración de esfuerzos en lo que habría que recomendar un redondeo en estas zonas, para un rediseño de la mangueta y así evitar que se genera alguna falla por fatiga del material.

El análisis de la velocidad con la que se desplaza el sistema de suspensión en el componente Y, cuando pasa el obstáculo de 0,20 metros, encontramos que en las distintas mallas son similares, una vez que el sistema de suspensión supero el obstáculo, el amortiguador y los elementos en contacto entre sí, absorbe esta velocidad haciendo que se disminuya paulatinamente y después de un periodo de tiempo, esta velocidad desaparece, este resultado confirma el propósito con la que esta implementada el sistema de suspensión.

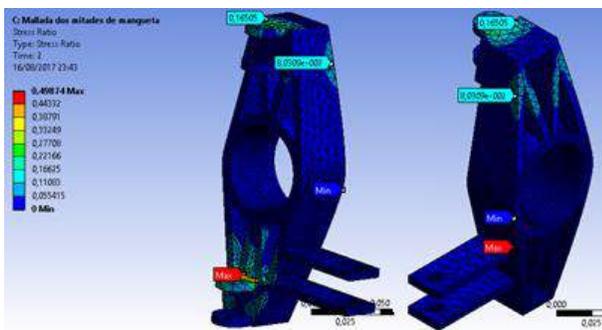


Figura 2319. Concentración de tensiones. Fuente (Propia).

De igual forma los valores obtenidos en la aceleración inicia tiempo después de que el neumático haga contacto con el obstáculo, generando la mayor aceleración y

posteriormente va disminuyendo por efecto del amortiguador y los demás elementos en contacto.

De los resultados de los máximos esfuerzos normal encontrados en las diferentes simulaciones se puede observar en la figura 24, se va incrementando el esfuerzo normal a medida que la malla de la mangueta se va afinando ya que los elementos que tienen son más pequeños.

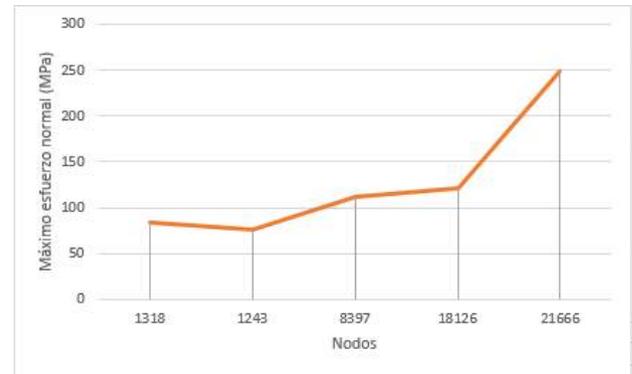


Figura 220. Máximo esfuerzo normal. Fuente (Propia).

El esfuerzo equivalente o Bon Mises, que indica el grado de confiabilidad que se va a tener la mangueta frente a una falla generada por fatiga en el que indica que la mangueta va a ser más segura cuando la malla va mejorando en sus características de nodos y elementos como se ve en la figura 25.

El esfuerzo cortante indica el esfuerzo que va a generar para producir un fallo, esto de igual manera se va incrementando a medida que la malla va de un tamaño grande a un tamaño fino, como se observa en la figura 26.

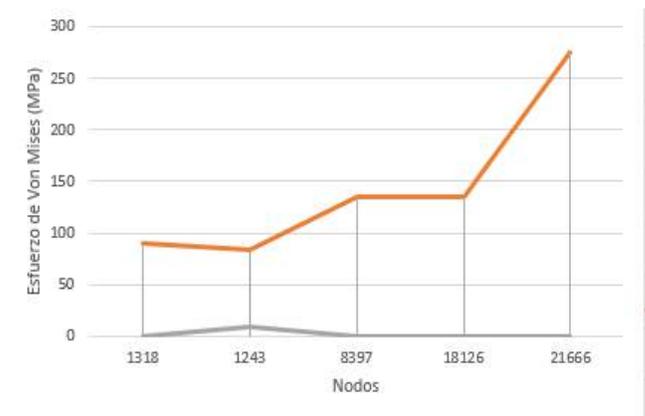


Figura 2521. Esfuerzo de Von Mises. Fuente (Propia).

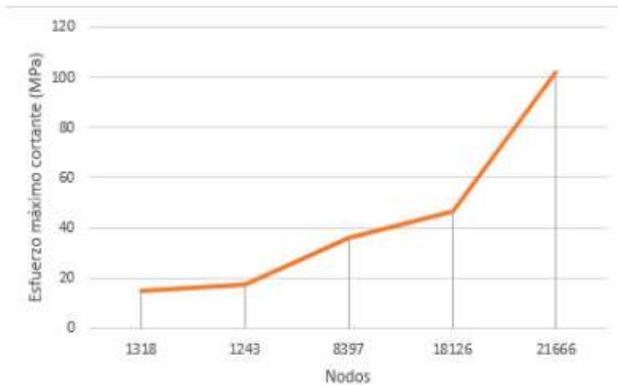


Figura 22. Esfuerzo máximo cortante. Fuente (Propia)

En la simulación del sistema de suspensión realizada en Simulink indica que, cuando el neumático empieza a tomar contacto con el obstáculo, su velocidad empieza a aumentar rápidamente hasta un valor de 2,867 m/s, después de 0,34 segundos, la velocidad bajo a 2,680 m/s, paulatinamente va disminuyendo la velocidad en forma amortiguada debido a la presencia del amortiguador.

De la misma forma la aceleración producida tanto en la parte del neumático y en el chasis se puede determinar que al momento de pasar el obstáculo el chasis acelera de forma controlada hasta un valor máximo de 2,867 m/s² debido a que toda su energía ya lo controla desde el neumático, componentes de suspensión y principalmente el amortiguador. Además, se observa que el neumático tiene una aceleración más rápida, y como la constante de elasticidad no es muy alta en este elemento hace que varíe súbitamente la aceleración máxima hasta que el neumático haya pasado por obstáculo.

Comparación entre Ansys y Simulink del sistema de suspensión

Al realizar una comparación de los resultados entre Ansys y Simulink, respecto a la velocidad indica que existe una pequeña variación, como se puede ver en la figura 27, en el que indica en Ansys existe un mayor valor de velocidad, debido a que las condiciones que se da en el mecanismo de suspensión con casi reales, mientras que en Simulink solo se da condiciones ideales.

En los resultados de Aceleración como se visualiza en la figura 28, los resultados de Simulink es más alto, esto puede ser a que en esta simulación no ha contactos ni restricciones, por lo que la oposición a una aceleración no existe, haciendo que el valor sea más elevado que la simulación en Ansys.

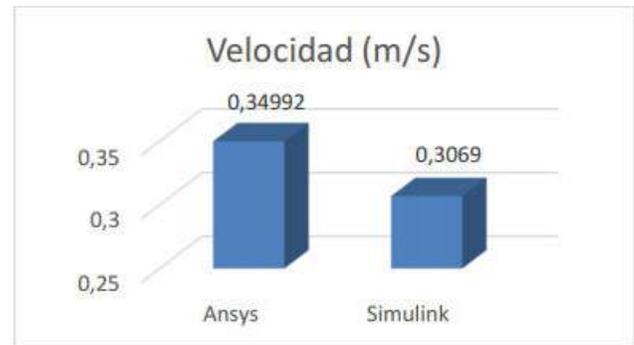


Figura 2723. Comparación de velocidades. Fuente (Propia).



Figura 2824. Comparación de aceleraciones. Fuente (Propia).

De los cálculos en función de los resultados obtenidos en los dos softwares se tiene que con respecto a la velocidad hay una diferencia del 13,81% y de la aceleración una variación de 2,91%, esto se puede considerar como aceptable ya que en el programa de Simulink no se puede considerar el tipo de material que cada elemento del sistema de suspensión tiene y tampoco el rozamiento o fricción que tienen los elementos en contacto.

Se determina los resultados tanto de la velocidad y aceleración no existe mucha diferencia, por lo que podemos asegurar que la simulación está dentro de los parámetros aceptables para realizar los diferentes criterios de esfuerzos que se encuentran en la mangueta.

Con la mejor optimización de la malla realizada a la mangueta, se afirma que la mangueta cumple con los requerimientos exigidos para el funcionamiento del sistema de suspensión.

El resultado obtenido en las simulaciones se determina la deformación en la parte de anclaje de los brazos de suspensión, similar resultado presentado por Shinde (Shinde, 2015), en el que se basa en optimizar una mangueta y alivianamiento de peso.

Un estudio complementario al análisis dinámico es la de realizar una predicción de fatiga del diseño de la mangueta. Este análisis se basa en tensiones y tensiones elásticas como lo realiza el estudio realizado por Lee, Raymond, & Villaire (Lee, Raymond, & Villaire, 1995).

En el análisis de la mangueta al utilizar un material de Aluminio Produx, sus resultados fueron óptimos ya que sus propiedades físicas y mecánicas, así como su ligereza contribuyen con la optimización, similar estudio lo realizó Dusane, Dipke, & Kumbhalkar (Dusane, Dipke, & Kumbhalkar, 2016).

IV. CONCLUSIONES

Con el análisis dinámico se encontró que la mangueta usada en el vehículo Formula SAE tiene ligeras concentraciones de esfuerzos en las zonas de las nervaduras de la cara frontal y en la horquilla de la base de la mesa de suspensión, con lo que se debe optimizar su geometría realizando redondeos en estos puntos críticos.

Se pudo evaluar que el material Produx utilizado para la simulación cumple con los requerimientos exigidos para este vehículo ya que la deformación generada es mínima. Además, que el máximo esfuerzo normal principal se ubica en el eje X con un valor de 249 MPa. Al terminar la simulación se determina que el máximo esfuerzo de corte se aplica en el plano XY con un valor de 102,12 MPa.

Al comparar el análisis por elementos finitos en Ansys Workbench y el método del modelo matemático en Simulink, se aprecia que los tiempos, deformaciones y las formas de curvas obtenidas presentan variación debido a que en el modelo matemático no se toman en cuenta número de partes del sistema, restricciones geométricas y el material que están fabricado cada elemento.

REFERENCIAS

V. REFERENCIAS

- Castella, C. (2015). Self hardening aluminum alloys for automotive applications. (*Doctoral thesis, Politecnico di Torino*). doi:10.4271/951846
- Dusane, S., Dipke, M., & Kumbhalkar, M. (2016). Analysis of Steering Knuckle of All Terrain Vehicles (ATV) Using Finite Element Analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/149/1/012133
- Fornace, L. (2006). Weight Reduction Techniques Applied to Formula SAE Vehicle Design. (*Bachelor's thesis, University Of California, San Diego*). Estados Unidos.
- Ivan Bohman C. A. (2017). *Ficha técnica Duraluminio*. Obtenido de http://www.bohler-uddeholm.com.ar/media/Tabla_comparativa_de_propiedades_de_los_aluminios.pdf
- Kunal , G., Pranav , S., & Rushikesh , J. (2014). Design and optimization of hub and knuckle for Formula. *International Journal of Engineering Research and Development*, 65-69. Retrieved from www.ijerd.com
- Lee, Y., Raymond, M., & Villaire, M. (1995). Durability Design Process of a Vehicle Suspension Component. *Journal of Testing and Evaluation, JTEVA*, 354-363.
- Martín, C. (2016). Diseño y fabricación de manguetas. (*Bachelor's thesis, Universidad de Valladolid*).
- Pérez , V. (2010). Evaluación no destructiva de materiales mediante métodos de reconstrucción tomográfica basados en redes neuronales de base radial. España.
- Samant , S., Santosh , K., Kaushal , K., Sudhanshu , K., Dhiraj , G., Sivapuram , R., & Karuna , K. (2015). Design of Suspension System for Formula Student Race Car. *12th International Conference on Vibration Problems*. doi:10.1016/j.proeng.2016.05.081
- Shinde, P. (2015). Design and optimization of hub and knuckle for. *Residual stresses quantification and elimination in SLM and DMLS components V*.
- Siddesh , K., Avjot , G., Sagar , P., Shashank , T., & Ashok , B. (2015). Fatigue Life Prediction and Durability test of passenger car Rheocast Aluminium Steering. *Journal of Materials Science & Surface Engineering*, 171-176. Retrieved from <http://www.jmsse.org/>
- Taday, E. F., & Arellano, J. C. (2016). Diseño y construcción de un sistema de suspensión para un vehículo tipo fórmula para la Escuela de Ingeniería Automotriz. (*Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*).

Parámetros característicos del motor de combustión interna con el uso de combustibles comerciales en Ecuador

Characteristic parameters of the internal combustion engine with the use of commercial fuels in Ecuador

Washington Germán Erazo Laverde¹, Leonidas Quiroz Erazo², Adriana Quimbita³, Xavier Guallichico⁴, José Quiroz Erazo⁵

^{1,2,3,4,5} Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía

¹ wgerazo@espe.edu.ec; ² laquiroz@espe.edu.ec; ³ aiquimbita@espe.edu.ec; ⁴ xguallichico@espe.edu.ec; ⁵ jlquiroz@espe.edu.ec

Resumen

En este artículo se realiza el análisis y comparación de los parámetros característicos de desempeño como son: El torque, potencia, consumo de específico de combustible, del motor de combustión interna ciclo Otto al utilizar las gasolinas comerciales SÚPER, EXTRA y ECOPAÍS, que se expenden en el Ecuador. Este se desarrolla en la ciudad de Latacunga, este proceso se realiza, con la finalidad de observar el comportamiento que tiene cada una de ellas y verificar si la gasolina ECOPAÍS que es de tipo ecológica está a la altura o supera el restante tipo de combustible, adicionalmente cual sería el comportamiento del motor de combustión interna al realizar combinaciones con la gasolina extra. Las pruebas de torque, potencia, se realizó en un dinamómetro de rodillos; las de consumo de combustible se desarrolló un protocolo de pruebas mediante la aplicación en una ruta específica bajo las mismas condiciones.

Palabras Clave: Torque, potencia, motor de combustión interna, consumo específico de combustible, gasolina

Abstract

In this article, the analysis and comparison of the characteristic parameters of performance are performed, such as: Torque, power, specific fuel consumption, of the Otto cycle internal combustion engine when using the SUPER, EXTRA and ECOPAÍS commercial gasolines, which are sold in Ecuador. This is developed in the city of Latacunga, this process is carried out, in order to observe the behavior of each of them and check whether the ECOPAÍS gasoline, which is of an ecological type, is at or exceeds the remaining type of fuel, additionally what would be the behavior of the internal combustion engine when making combinations with extra gasoline. Torque tests, power, was performed on a roller dynamometer; For fuel consumption, a test protocol was developed by applying it to a specific route under the same conditions.

Keywords: Torque, power, engine, specific fuel consumption, gasoline.

I. INTRODUCCIÓN.

Entre muchos combustibles alternativos, el etanol es uno de los más prácticos y prometedores para su uso en motores de encendido por chispa. El etanol tiene mayor eficiencia térmica que la gasolina debido a su alto índice de octano, lo que permite el uso de una mayor relación de compresión [1].

El etanol es del grupo hidroxilo en su composición química, que promueve la quema, haciéndola más rápida y más completa. A pesar de los aspectos positivos, algunas características como la baja lubricidad y el potencial de corrosión del etanol en las partes del motor necesitan ser elevadas [2].

El etanol es el combustible más corrosivo entre los combustibles fósiles (diesel y gasolina) y renovables (etanol y biodiesel). Algunas impurezas que pueden estar presentes en el alcohol, tales como cloruros, acetatos y agua causan la corrosión de los metales. Con respecto al biodiesel, existen pocos estudios que evalúen su acción corrosiva. Las últimas indicaciones son que tiene un potencial corrosivo dependiendo de su grado de insaturación, tiene presencia de agua y alcoholes residuales, aunque a niveles muy bajos. Varios estudios se han llevado a cabo la evaluación de la lubricidad del biodiesel, principalmente como un aditivo de bajo contenido de azufre diesel [3].

[4] Verificaron que las mezclas de etanol y biodiesel tienen la capacidad de permanecer en una sola fase, incluso con variaciones de temperatura (excepto para -18°C) y concentración de etanol. El etanol actúa como un aditivo de invierno para el biodiesel, mejorando su punto de obstrucción del filtro frío, el punto de turbidez y la fluidez. Las pruebas de densidad mostraron un equilibrio entre los componentes de la mezcla, mejorando la inyección de combustible, ya que el etanol de baja densidad se ajusta a la alta densidad de biodiesel

El motor de ignición interna obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Gracias a la inflamación de la mezcla gasolina y aire, la energía química de esta se transforma en energía mecánica.

La gasolina debe combinarse con aire para que se produzca la inflamación de la mezcla gasolina-aire. La inflamación de la mezcla se produce casi instantáneamente al saltar la chispa, por lo que se puede decir que se trata de una explosión, dentro de la cámara de combustión. La mezcla de gasolina - aire debe estar en estado gaseoso y cuanto mejor es la homogeneidad de esta mayor será el aprovechamiento de la energía del combustible [5].

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

Los dinamómetros de rodillos se usan para conseguir curvas características del motor de combustión interna (potencia, torque), a través de este equipo se determina los parámetros característicos del m.c.i.

Para la realización de las mediciones se ubican las ruedas del vehículo sobre los rodillos, tomando las precauciones que corresponden. El inicio de la prueba, se arranca el motor y se procede a realizar inicialmente las medidas de calibración.

El rodillo, de alta inercia y volumen, recibe la potencia de las ruedas del vehículo, y un sistema de captura de datos y un software especializado presenta en la pantalla del computador los resultados obtenidos en forma de gráficos y tablas. Con un banco de rodillos, se puede determinar si el motor de un vehículo cumple con las especificaciones señaladas por el fabricante, así como también, evaluar la influencia de modificaciones mecánicas o electrónicas, sobre el rendimiento del motor, sin tener que desmontarlo.

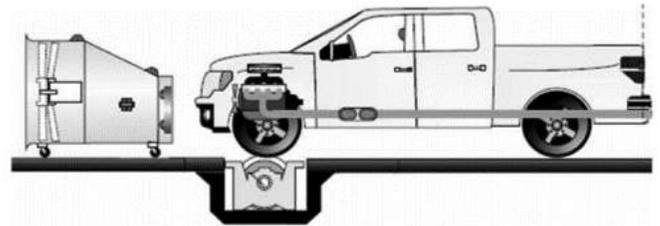


Figura 1. Dinamómetro de rodillos

La metodología aplicada en esta investigación es: experimental ya que mediante pruebas de laboratorio se obtuvieron resultados de: torque y potencia, consumo de combustible y a través de la matemización se calcularon los rendimientos del motor. Se utilizaron instrumentos y técnicas de medición como levantamiento de información y procesos de medición especializados como: Método inductivo, deductivo, medición, experimental, análisis, síntesis, comparativo y matemización.



Figura 2. Metodología de la investigación

III. RESULTADOS

Para el análisis de potencia, se realizaron 3 pruebas por cada tipo de gasolina y se obtuvieron promedios para hacer el análisis de potencia, en la tabla 1, se muestran los datos de las pruebas y sus respectivos promedios de cada combustible. Además se hicieron pruebas estándar para verificar el funcionamiento del dinamómetro, se hizo el cálculo de la potencia indicada y por último se tomó el dato de la potencia máxima que da en la ficha técnica del motor, que son necesarios para el análisis.

Tabla 1. Pruebas y promedio de la potencia en el vehículo realizado en la ciudad de Latacunga

Estación de Servicio	Gasolina	POTENCIA (HP)			
		P.1	P.2	P.3	PROMEDIO
ESTACIÓN 1	[1]	94,10	93,30	93,10	93,50
	[2]	90,70	90,20	89,70	90,20
	[3]	93,50	93,20	92,20	92,97
ESTACIÓN 2	[1]	93,30	93,00	92,60	92,97
	[2]	91,80	90,90	90,70	91,13
	[3]	93,80	93,20	93,00	93,33
ESTACIÓN 3	[1]	92,10	91,70	91,20	91,67
	[2]	90,90	90,60	90,30	90,60
	[3]	95,70	94,90	92,60	94,40
ESTACIÓN 4	[1]	93,80	93,60	93,00	93,47
	[2]	91,30	90,50	90,50	90,77
	[3]	93,40	93,20	93,10	93,23
	[4]	88,80	88,80	88,40	88,67
	[5]			90,55	
	[6]			91,00	

[¹] SÚPER / [²] EXTRA / [³] ECOPAÍS / [⁴] ESTÁNDAR / [⁵] CALCULADA / [⁶] FICHA TÉCNICA

En las siguientes comparaciones, se muestran los valores de la potencia máxima que alcanzó el motor F2 con gasolina SÚPER, EXTRA, ECOPAÍS de las distintas estaciones de servicio; asimismo con las mezclas al 50% que se realizaron.

La figura 3, detalla los valores de obtenidos de potencia máxima de la gasolina SÚPER de las estaciones de servicio, evidenciando que las 4 estaciones superan los valores promedio de la prueba estándar, potencia calculada, y de la ficha técnica del motor.

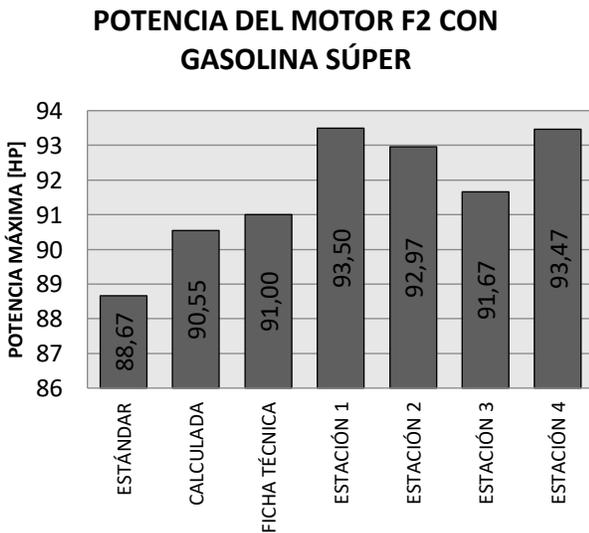


Figura 3. Potencia del motor con gasolina SÚPER

La figura 4, presenta la potencia máxima alcanzada del motor F2 con gasolina EXTRA; se observa que las 4 estaciones superan el valor de la potencia estándar, mientras que la ESTACIÓN 1, se encuentra por debajo del valor de la potencia calculada; las ESTACIONES 3 y 4, sobrepasan por una diferencia mínima la potencia calculada; y la ESTACIÓN 2, se distingue que supera en una mínima cantidad a la potencia de la ficha técnica.

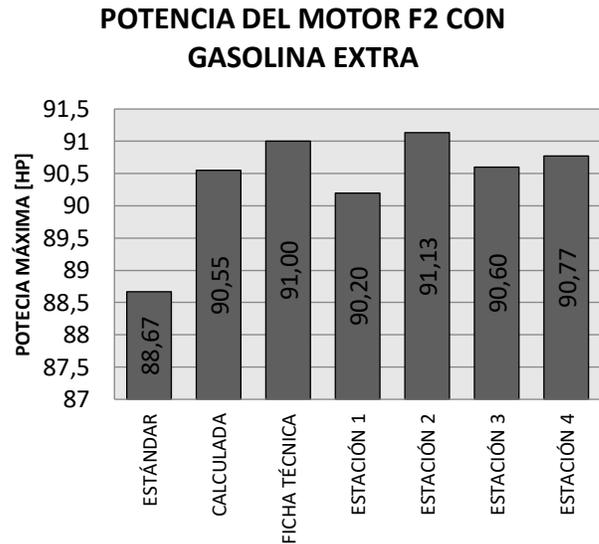


Figura 4. Potencia del motor con gasolina EXTRA

La potencia máxima que genera el motor F2 con gasolina ECOPAÍS; se distingue que excede a los valores de los parámetros iniciales de potencia, como es la estándar, calculada y de la ficha técnica. Dando valores de 92,97 [HP]; 93,33 [HP]; 94,4 [HP] y 93,23 [HP]; de las ESTACIONES 1, 2, 3 y 4, respectivamente, se observa en la figura 5.

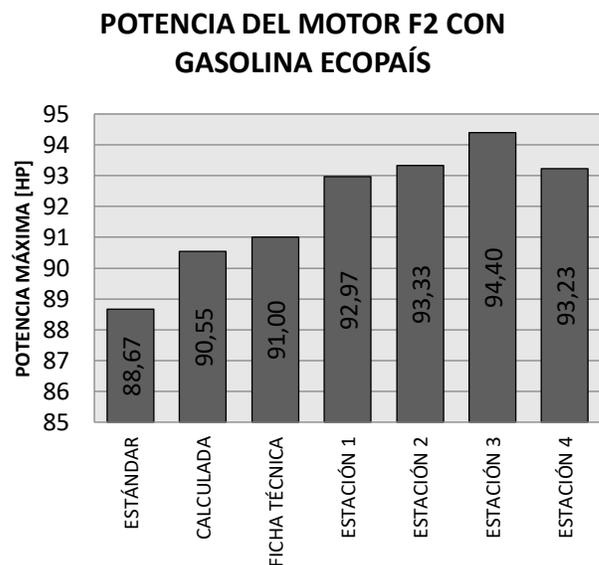


Figura 5. Potencia del motor con gasolina ECOPAÍS

También se realiza un análisis comparativo de la potencia de las gasolinas entre estaciones de servicio, donde se hace con valores referenciales que son estándar, calculada y ficha técnica del motor.

De la figura 7, se observa que las gasolinas de la ESTACIÓN 1, superan a los valores de potencia de los parámetros iniciales. Dando como resultado lo siguiente: SÚPER produce una potencia en el motor de 93,50 [HP]; EXTRA, 90,20 [HP] y ECOPAÍS genera 92,97 [HP].

POTENCIA DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 1

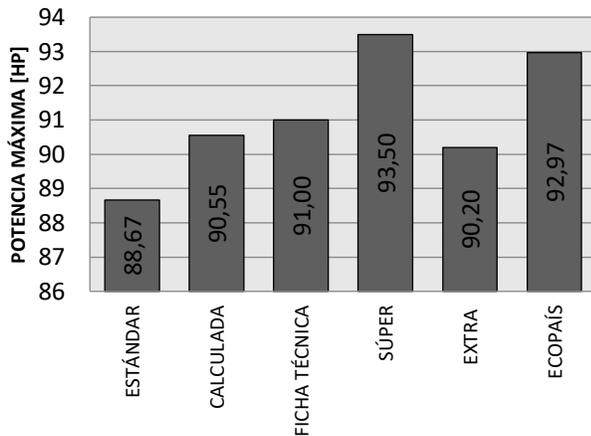


Figura 6. Potencia del motor F2, ESTACIÓN 1

En la figura 8, se muestra los valores de potencia del motor que generó las gasolinas de la estación de servicio PRIMAX, donde la gasolina ECOPAÍS es aquella que tiene 93,33 [HP] que hace que sea la cantidad mayor en cuanto a esta estación, por el contrario la gasolina EXTRA es la que menor potencia produce en el motor con un total de 91,13 [HP]; se observa que los datos superan a los parámetros iniciales.

POTENCIA DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 2

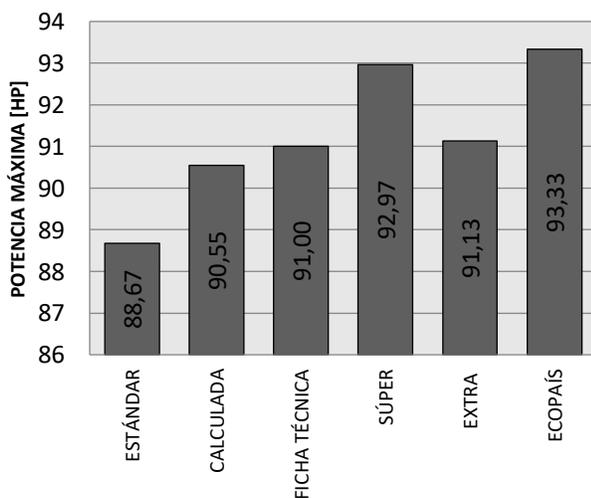


Figura 7. Potencia del motor F2, ESTACIÓN 2

Los valores de potencia que da el motor F2 con las gasolinas de la ESTACIÓN 3, se muestra en la figura 9; se visualiza que los valores de las gasolinas de esta estación

sobrepasan las cantidades iniciales de la estándar, calculada y de la ficha técnica; dándose a conocer que ECOPAÍS genera una mayor potencia de 94,40 [HP]; por el contrario la EXTRA es la que tiene el menor valor con 90,60 [HP].

POTENCIA DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 3

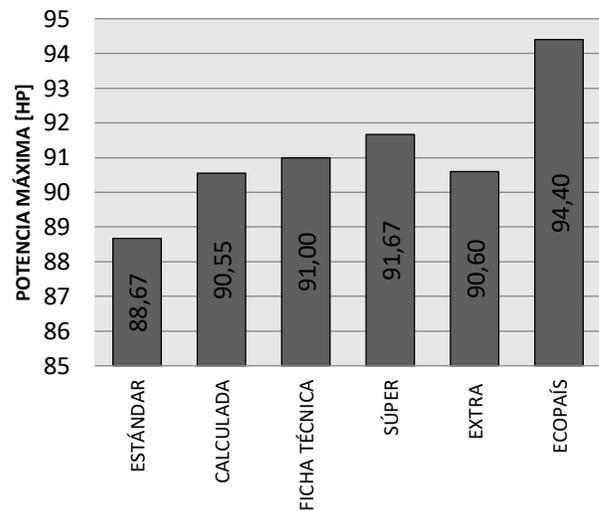


Figura 8. Potencia del motor F2, ESTACIÓN 3

Los valores de potencia de las gasolinas que generó el motor F2 de la ESTACIÓN 4, se muestran en la figura 10, dando así a conocer que la gasolina SÚPER tiene una cantidad mayor que de la EXTRA, con 93,47 [HP] y 90,77 [HP], respectivamente; se observa que todos los valores de las gasolinas superan los datos iniciales.

POTENCIA DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 4

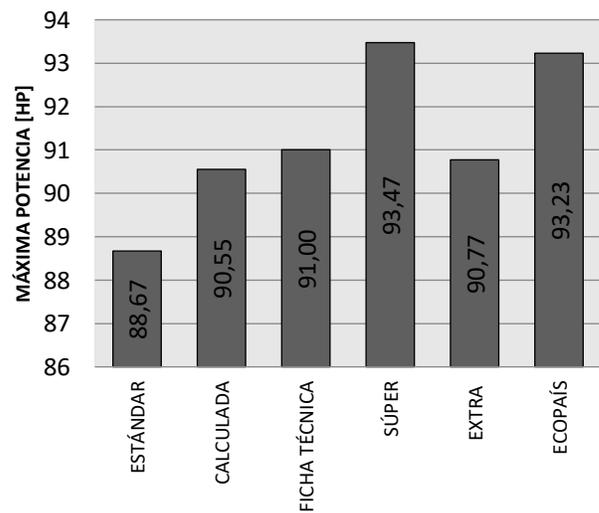


Figura 9. Potencia del motor F2, ESTACIÓN 4

Se presentan los valores del torque máximo que da el motor F2, con las gasolinas y las gráficas de las pruebas en el dinamómetro. Además, se indica en la tabla 2, que de cada gasolina se realizaron tres pruebas y de ellas se consiguió un promedio del torque; para lo cual se trabajó con este para los previos análisis.

Tabla 2. Pruebas y promedio del torque en el vehículo

Estación de Servicio	Gasolinera	TORQUE (Kg m)			
		P.1	P.2	P.3	PROM.
ESTACIÓN 1	[1]	13,04	12,85	12,68	12,86
	[2]	12,74	12,68	12,60	12,67
	[3]	12,87	12,82	12,66	12,78
ESTACIÓN 2	[1]	12,95	12,93	12,89	12,92
	[2]	12,79	12,48	12,47	12,58
	[3]	12,92	12,85	12,72	12,83
ESTACIÓN 3	[1]	13,27	12,86	12,82	12,98
	[2]	12,90	12,85	12,47	12,74
	[3]	13,32	13,29	12,91	13,17
ESTACIÓN 4	[1]	13,03	12,92	12,79	12,91
	[2]	12,58	12,55	12,52	12,55
	[3]	13,16	13,10	13,05	13,10
	[4]	12,64	12,44	12,33	12,47
	[5]				13,98
	[6]	118,00		ft lb	16,32

[¹] SÚPER / [²] EXTRA / [³] ECOPAÍS / [⁴] ESTÁNDAR
 [⁵] CALCULADA / [⁶] FICHA TÉCNICA

A continuación, se indica el torque máximo que da el motor con las diferentes gasolinas de distintas estaciones de servicio que expenden en el Ecuador. La figura 11, representa los valores del torque máximo que proporciona el motor al suministrar gasolina SÚPER, de las 4 estaciones de servicio, donde se observa que existe variaciones mínimas entre los valores, a la vez son menores a la calculada y de la ficha técnica. De la ESTACIÓN 3, existe un valor de 12,98 [Kg m], y de la ESTACIÓN 1 con 12,86 [Kg m], con respecto a esta gasolina.

TORQUE DEL MOTOR F2 CON GASOLINA SÚPER

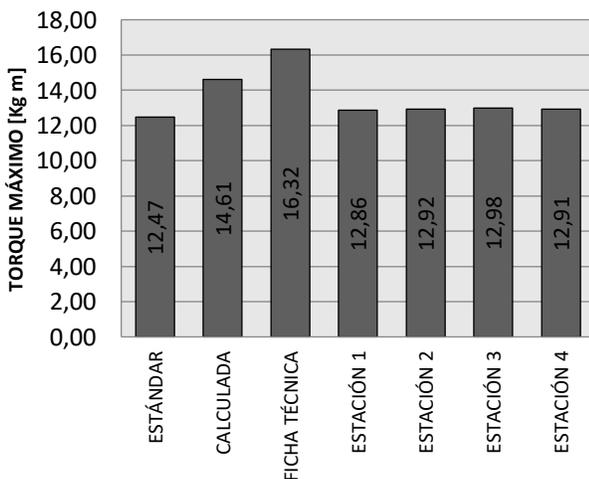


Figura 10. Torque del motor con gasolina SÚPER

Los valores de torque que proporciona el motor F2, con la gasolina EXTRA se indica en la figura 12; dando así lo

siguiente, de las ESTACIONES 1, 2, 3 y 4, generó un torque de 12,67 [Kg m], 12,58 [Kg m], 12,58 [Kg m] y 12,55 [Kg m], respectivamente.

TORQUE DEL MOTOR F2 CON GASOLINA EXTRA

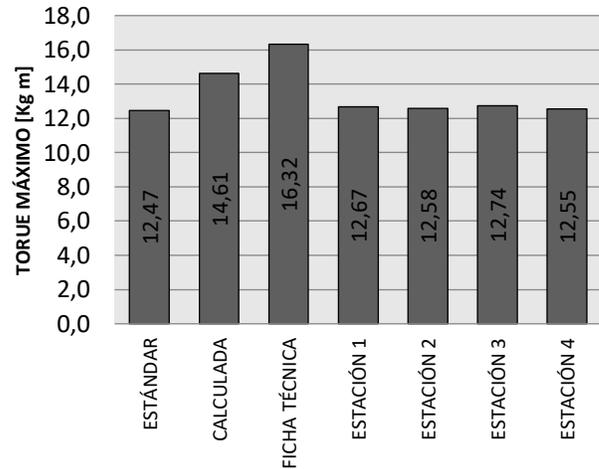


Figura 11. Torque del motor con gasolina EXTRA

De la gasolina ECOPAÍS, se muestra en la figura 13 las cantidades del torque; donde se puede observar que igual a las demás gasolinas están por debajo del valor de la ficha técnica, calculada y ficha técnica; entonces la ESTACIÓN 1, tiene su cifra menor a la de la ESTACIÓN 3 con 12,78 [Kg m] y 13,17 [Kg m], respectivamente. Mientras que la ESTACIÓN 2 y 4, valores del torque de 12,83 [Kg m] y 13,10 [Kg m], respectivamente.

TORQUE DEL MOTOR F2 CON GASOLINA ECOPAÍS

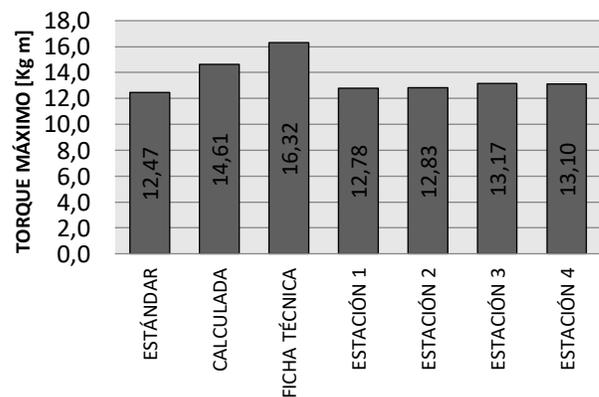


Figura 12. Torque del motor con gasolina ECOPAÍS

Luego, se hace un análisis del torque máximo que se dio a partir de las gasolinas, entre estaciones de servicio, esto se muestra a continuación. Se hizo cálculos de torque.

En la figura 15, se muestra el torque máximo de las gasolinas de la ESTACIÓN 1; donde SÚPER es la de que tiene una cantidad mayor; pero, la gasolina EXTRA es la que menor cantidad, con 12,86 [Kg m] y 12,67 [Kg m], respectivamente.

Se observa además que entre las 3 no existe mucha diferencia de torque, pero al igual sus valores son menores a la de la ficha técnica y se aproxima a la calculada.

TORQUE DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 1

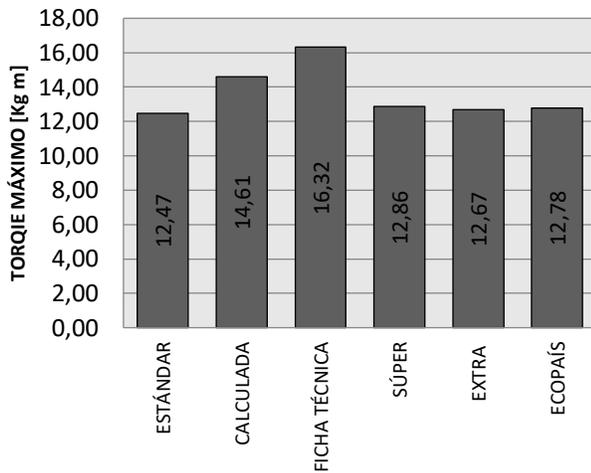


Figura 13. Torque del motor de ESTACIÓN 1

La ESTACIÓN 2, muestra los valores de torque que se realizó en las pruebas en la figura 16; donde se observa que la que mejor torque suministra es la gasolina SÚPER; la EXTRA es la menor en cuanto a esta gasolina; añadiendo además las cantidades de cada una de ellas; en SÚPER con 12,98 [Kg m], EXTRA con 12,58 [Kg m] y ECOPAÍS con 12,83 [Kg m].

TORQUE DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 2

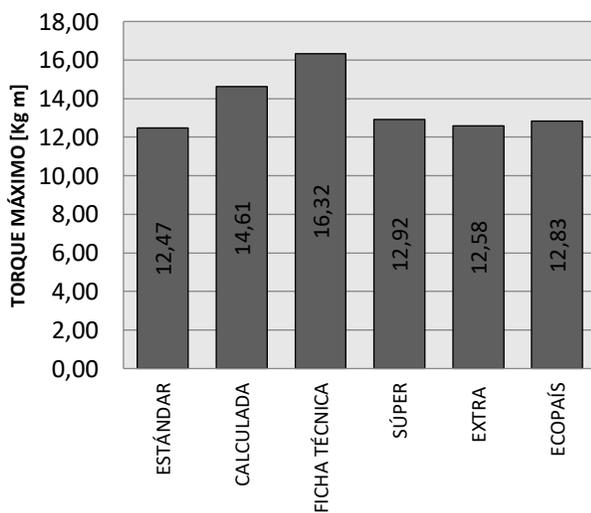


Figura 14. Torque del motor de gasolina ESTACIÓN 2

El par motor de la ESTACIÓN 3, se muestra en la figura 17; dando así a conocer que la gasolina ECOPAÍS (13,17 [Kg m]) es la mayor, mientras que la EXTRA (12,74 [Kg m]) es el menor. Se observa que entre SÚPER y EXTRA, no existe demasiada diferencia.

TORQUE DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 3

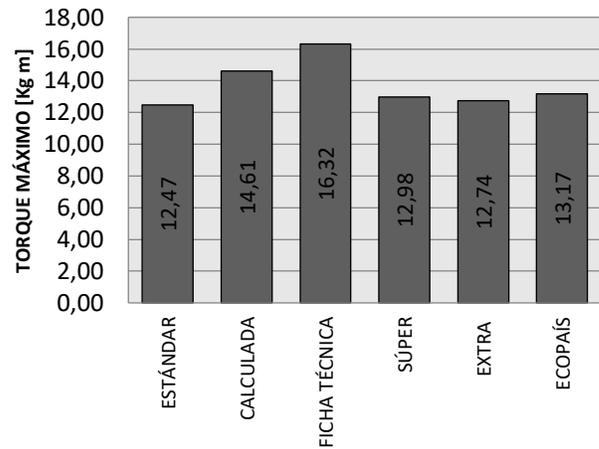


Figura 15. Torque del motor de gasolina ESTACIÓN 3

Para terminar con el análisis comparativo del torque entre las estaciones de servicio, en la figura 18, se indica los valores de la ESTACIÓN 4, dando así los siguientes valores en SÚPER tiene un total de 12,91 [Kg m], EXTRA con 12,55 [Kg m] y ECOPAÍS con 13,10 [Kg m]. Así se observa que ECOPAÍS es la mayor en cuanto a esta estación de servicio y la menor es EXTRA.

TORQUE DEL MOTOR F2 ESTACIÓN 4

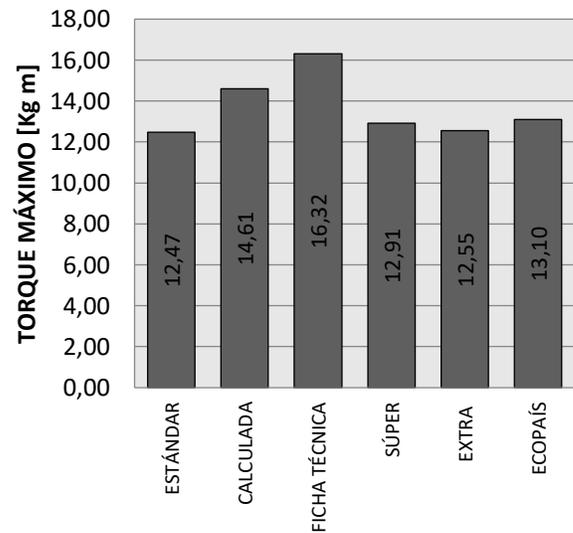


Figura 16. Torque del motor de gasolina ESTACIÓN 4

A continuación se presentan los datos obtenidos tras el desarrollo de pruebas de consumo de combustible con las gasolinas comerciales y las diferentes mezclas entre; SÚPER-EXTRA, SÚPER-ECOPAÍS y EXTRA-ECOPAÍS al 50%, realizadas en una ruta, se toma a consideración ciertos parámetros para el cálculo del consumo de combustible que se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Parámetros para del consumo de combustible

Significado	Valor	Descripción
Cantidad de volumen	0,775 [l]	Cantidad de volumen que consumió en la ruta.
Tiempo	10,683 [min]	Tiempo que transcurre realizando la ruta.
Densidad del combustible	0,721 [Kg/l]	Densidad del combustible, es necesario para encontrar la masa de la misma.
Masa de combustible	0,558775 [Kg]	Obteniendo del valor de la densidad multiplicado por la cantidad del volumen utilizado del combustible.
Consumo de combustible	3,1382 [Kg/h]	Se adquiere el valor con la división entre la masa de combustible y el tiempo recorrido.

En la tabla 4, se muestra los valores de consumo de combustible calculados para cada gasolina.

Tabla 4. Consumo de combustible
VELOCIDAD PROMEDIO DE 86,6 Km/h

GASOLINERA	GASOLINA	Consumo de combustible (Kg/h)
ESTACIÓN 1	SÚPER	2,7072
	EXTRA	3,6818
	ECOPAÍS	3,3807
ESTACIÓN 2	SÚPER	3,2901
	EXTRA	2,9347
	ECOPAÍS	3,4792
ESTACIÓN 3	SÚPER	3,1382
	EXTRA	3,4570
	ECOPAÍS	2,7065
ESTACIÓN 4	SÚPER	3,0618
	EXTRA	3,9729
	ECOPAÍS	3,5726
MEZCLAS AL 50%	SÚPER-EXTRA	4,1688
	SÚPER-ECOPAÍS	3,6170
	EXTRA-ECOPAÍS	2,9909

Los valores del consumo de combustible a velocidad máxima de 86,6 [Km/h] de las gasolinas de las estaciones de servicio evaluadas, se muestra en la figura 17, en donde se hizo un promedio con todas las pruebas de los distintos tipos de gasolina. Por ello, se obtuvieron los siguientes datos, al combinar las gasolinas SÚPER-EXTRA se determinó un consumo de 4,168 [Kg/h] y 5,304 [Km/l]. La gasolina ECOPAÍS de la ESTACIÓN 3; consume 2,706 [Kg/h] y 9,037 [Km/l].

CONSUMO DE COMBUSTIBLE [Kg/h] A VELOCIDAD PROMEDIO DE 86,6 [Km/h]

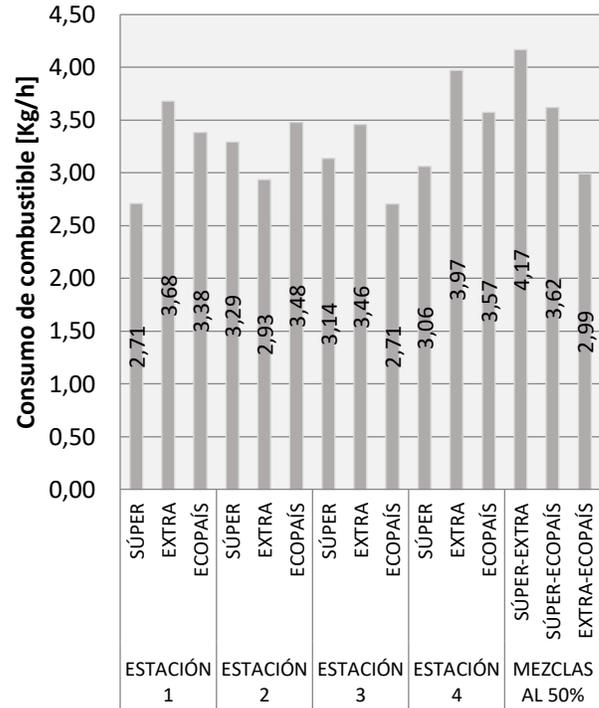


Figura 17. Consumo de combustible a velocidad de 86,6 [Km/h]

Se realiza un ejemplo del cálculo para el gasto específico de combustible del combustible. En la tabla 5, se muestra los datos para la obtención:

Tabla 5. Parámetros para el gasto específico de combustible

Significado	Valor	Descripción
Consumo de combustible	3,1382 [Kg/h]	Cantidad de combustible que se consume en un determinado tiempo.
Potencia efectiva	68,3833 [KW]	Potencia del motor con cada combustible.
Consumo específico de combustible	45,8914 [g/KWh]	Se obtiene mediante la división entre el consumo de combustible y la potencia al freno. Además se sabe que, muestra la eficiencia que tiene un motor para transformar combustible en energía mecánica.

En la tabla 6, se muestra los valores de cada gasolina con su respectiva estación de servicio del consumo específico de combustible a las diferentes velocidades máximas promedios, entre ellos está a 86,6 [Km/h].

Tabla 6. Gasto específico de combustible

VELOCIDAD PROMEDIO DE 86,6 Km/h		
GASOLINERA	GASOLINA	GASTO ESPECÍFICO COMBUSTIBLE (g/KW h)
ESTACIÓN 1	SÚPER	38,8127
	EXTRA	54,7163
	ECOPAÍS	48,7468
ESTACIÓN 2	SÚPER	47,4402
	EXTRA	43,1670
	ECOPAÍS	49,9697
ESTACIÓN 3	SÚPER	45,8914
	EXTRA	51,1491
	ECOPAÍS	38,4319
ESTACIÓN 4	SÚPER	43,9115
	EXTRA	58,6729
	ECOPAÍS	51,3653
MEZCLAS AL 50%	SÚPER-EXTRA	64,0358
	SÚPER-ECOPAÍS	54,7037
	EXTRA-ECOPAÍS	45,8199

El gasto específico de combustible a una velocidad máxima promedio de [86,6 Km/h], se indica en la figura 75, estos datos fueron cálculos en base al consumo de combustible. Por lo que se puede observar, en la mezcla de gasolina SÚPER-EXTRA tiene un gasto específico de 64,0358 [g/KW h], mientras que la ECOPAÍS de la ESTACIÓN3, tiene un gasto de 38,4319 [g/ KW h], notándose una disminución en el consumo.

GASTO ESPECÍFICO EFECTIVO [g/KW h] A VELOCIDAD PROMEDIO DE 86,6 [Km/h]

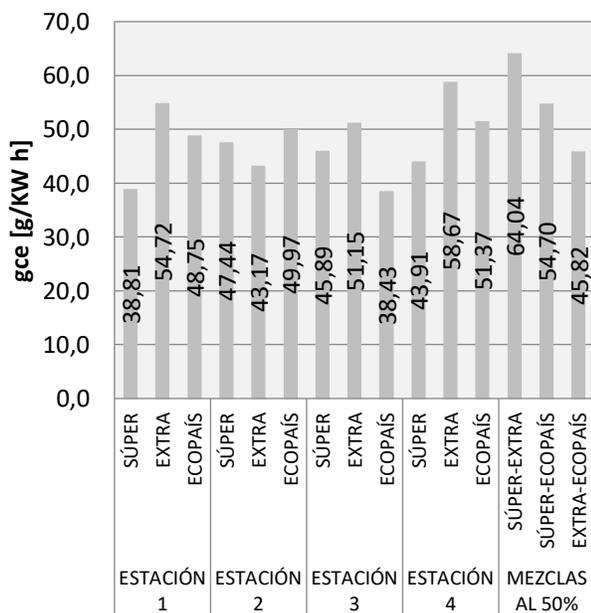


Figura 18. Gasto específico de combustible a velocidad de 86,6 [Km/h]

IV. CONCLUSIONES

Al suministrar al motor de combustión gasolina SÚPER de la ESTACIÓN 1, presenta un incremento en el consumo específico de combustible de 58,673 g/kWh, mientras la gasolina SÚPER de la ESTACIÓN 4, muestra un mínimo consumo de combustible de 38,432 g/kWh una vez concluida la prueba de ruta a la que fue sometido.

Se realizaron cálculos de los parámetros característicos del motor F2, donde se determinó la potencia indicada, donde se obtuvo un valor aproximado al de la ficha técnica, el resultado calculado fue de 90,55 HP, dando así una pérdida del 0,49%, al referenciarla con la ficha técnica.

Una vez terminados los cálculos se obtuvo de potencia 90,55 HP; que se comparó con los valores máximos y mínimos adquiridas en las pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos, dando como resultado que ECOPAÍS de la ESTACIÓN 3 tiene un incremento del 4,25%; mientras que al combinar SÚPER-EXTRA disminuye 3,62%, en comparación con la calculada.

Se obtuvo un torque calculado de 14,61 Kg-m; y se comparó con los valores adquiridos en las pruebas de torque, en el dinamómetro de rodillos, dando como resultado que ECOPAÍS de la ESTACIÓN 3 y la mezcla de EXTRA-ECOPAÍS, disminuyen en 9,86% y 18%, respectivamente.

El combustible ECOPAÍS de la ESTACIÓN 3, ostenta un incremento de potencia del 3,736 % en comparación al valor de la ficha técnica del motor que indica que la potencia máxima es de 91 HP. Teniendo en cuenta la potencia máxima que alcanzo el motor F2 al utilizar este combustible es de 94,4 HP.

La ESTACIÓN 1, muestra variaciones en cuanto a la potencia entregada por el motor F2, al realizar una comparación entre gasolinas: SÚPER incrementa un 3,529% y un 0,57% vs el combustible EXTRA y ECOPAÍS respectivamente. Mientras que la gasolina EXTRA disminuye un 2,959% al compararla con ECOPAÍS.

La ESTACIÓN 2, mostró sucesivas variaciones en cuanto a la potencia, al realizar una comparación entre gasolinas: SÚPER incrementó en 1,964% y disminuyó un 0,393% vs el combustible EXTRA y ECOPAÍS respectivamente. Mientras que la gasolina EXTRA reduce un 2,357% al compararla con ECOPAÍS.

La ESTACIÓN 3, desplegó variaciones en cuanto a potencia, al realizar un cotejo entre gasolinas: SÚPER genera un incremento del 1,13% y una disminución de 2,895% vs el combustible EXTRA y ECOPAÍS respectivamente. Mientras que la gasolina EXTRA reduce un 4,025% al compararla con ECOPAÍS.

La ESTACIÓN 4, evidenció variaciones en cuanto a los valores de potencia, al efectuar una medición entre gasolinas: SÚPER incrementa un 2,889% y 0,25% vs el combustible

EXTRA y ECOPAÍS respectivamente. Mientras que la gasolina EXTRA reduce un 2,639% al cotejarla con ECOPAÍS.

La gasolina ECOPAÍS de la ESTACIÓN 3, al alcanzar el torque máximo, presenta una pérdida del 19,30% en su valor de torque normal de (16,32 Kg.m), precisado en la ficha técnica del motor Mazda F2.

V. REFERENCIAS

- [1] Wang, S., Ji, C., & Zhang, B. (2010). Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a spark-ignited ethanol engine at idle and stoichiometric conditions. *International journal of hydrogen energy*, 35(17), 9205-9213.
- [2] Ambrozín, A. R. P., Kuri, S. E., & Monteiro, M. R. (2009). Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. *Química Nova*, 32(7), 1910-1916.
- [3] Hu, J., Du, Z., Li, C., & Min, E. (2005). Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers. *Fuel*, 84(12), 1601-1606.
- [4] Torres-Jimenez, E., Svoljšak-Jerman, M., Gregorc, A., Liseč, I., Dorado, M. P., & Kegl, B. (2009). Physical and chemical properties of ethanol- biodiesel blends for diesel engines. *Energy & Fuels*, 24(3), 2002-2009.
- [5] Rodríguez, J. P. (2013). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto. TMVG0409*. IC Editorial.
- [6] Vanzela, E., Nadaleti, W. C., Bariccatti, R. A., Cremonez, P. A., de Rossi, E., Belli Filho, P., ... & de Souza, S. N. (2017). *Physicochemical properties of ethanol with the addition of biodiesel for use in Otto cycle internal combustion engines: Results and revision*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1181-1188.
- [7] Guallichico, X. and Quimbita, A. (2017). Determinación del potencial energético y mecánico del motor F2 con combustibles comerciales en el Ecuador. Ingeniería. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- [8] Gonca, G. (2017). Effects of engine design and operating parameters on the performance of a spark ignition (SI) engine with steam injection method (SIM). *Applied Mathematical Modelling*, 44, 655-675.
- [9] Alhussan, K., Assad, M., & Penazkov, O. (2016). Analysis of the actual thermodynamic cycle of the detonation engine. *Applied Thermal Engineering*, 107, 339-344.
- [10] Garcia, R. F., Carril, J. C., Gomez, J. R., & Gomez, M. R. (2016). Preliminary thermodynamic study of regenerative Otto based cycles with zero NOx emissions operating with adiabatic and polytropic expansion. *Energy Conversion and Management*, 113, 252-263.

Diseño, construcción e instalación de un alcoholímetro electrónico con dispositivo de bloqueo en un vehículo

Luis F. Buenaño M.¹; Bolívar A. Cuaical A.²; Ligia E. Moreno P.³;
María P. Casanova⁴; Celin A. Padilla P⁵.

Facultad de Mecánica
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador

¹ Ligia Elena Moreno Pinduisaca, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Docente, limoreno@esPOCH.edu.ec

² Luis Fernando Buenaño Moyano, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Docente, lfbuenanio@esPOCH.edu.ec

³ Bolívar Alejandro Cuaical Angulo, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Docente, buaical@esPOCH.edu.ec

⁴ María Paula Casanova, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mp_casanova@hotmail.com

⁵ Celin Abad Padilla Padilla, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Docente, celin.padilla@esPOCH.edu.ec

Resumen

En el presente trabajo se detalla el diseño, construcción e instalación de un alcoholímetro electrónico con dispositivo de bloqueo en una camioneta Mazda BT-50, el objetivo es crear un dispositivo que contribuya a prevenir accidentes de tránsito evitando que el vehículo se encienda si el conductor excede el nivel de alcohol permitido por las leyes vigentes. El módulo de control electrónico que se construye, maneja la información de los sensores de alcohol, se procesa la información recibida y ordena el funcionamiento de los actuadores. Para determinar el nivel de alcohol, estos sensores fueron calibrados en función del alcotest marca drager de la Policía de Tránsito de Quito. Los elementos que componen el alcoholímetro principalmente son: sensores MQ3, sensor de presión, pantalla LCD, y un módulo de sonido, los parámetros de funcionamiento del alcoholímetro se obtuvieron en el Centro de Contraventores de Tránsito de Quito, estos sirvieron de base para la construcción del módulo de control, que va alojado en un lugar visible para el conductor y permite realizar la prueba de alcocheck cuando vaya a encender el vehículo o en caso de que el sistema lo solicite. Las pruebas realizadas del sistema implementado permitieron comparar las variaciones del mismo con respecto al alcoholímetro utilizado en la Policía de Tránsito, el sistema permitirá la conducción del vehículo si el conductor no excede los 0,3 gr/l de alcohol y es programable a diferentes límites contribuyendo finalmente a disminuir los porcentajes de accidentes por embriaguez.

Palabras clave: alcoholímetro, alcocheck, micro controlador, seguridad, sensores, leyes de tránsito.

Abstract

In the present work is detailed the design, construction and installation of an electronic breathalyzer with locking device in a Mazda BT-50 truck, the goal is to create a device that contributes to an accident prevention that prevents the vehicle from turning on if the driver exceeds the level of alcohol allowed by current laws. The electronic control module that is built, handles the information of the alcohol sensors, processes the information received and orders the operation of the actuators. To determine the level of alcohol, these sensors were calibrated according to the brand marker of the Transit Police of Quito. The elements that make up the breathalyzer mainly are: MQ3 sensors, pressure sensor, LCD screen, and a sound module, the operating parameters of the breathalyzer were obtained from the Traffic Contraventores Center of Quito, these serve as the basis for the construction of the control module, which is housed in a place visible to the driver and allows the alcocheck test to be carried out when the vehicle is to be started or in case the system requests it. The tests carried out of the implemented system allowed to compare the variations thereof with respect to the breathalyzer used in the Traffic Police, the system will allow the driving of the vehicle if the driver did not exceed 0.3 g / l of alcohol and was programmed to different limits contributing finally to decrease the percentages of accidents by drunkenness.

Keywords: alcocheck, breathalyzer, micro controller, security, sensors, traffic Laws

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el campo automotriz se invierte miles de dólares en el desarrollo de nuevos sistemas de seguridad en los vehículos con el fin de salvaguardar la integridad del conductor y sus acompañantes, sin embargo el desconocimiento del uso correcto de los sistemas de seguridad y la imprudencia de muchos conductores al conducir en estado no apto pueden causar un accidente de tránsito.

En el sistema de tránsito intervienen tres factores humano, vehicular y ambiental conocidos como trilogía vial, cada uno de estos tiene responsabilidad en los accidentes de tránsito pero el más importante es el factor humano, en el Ecuador el incremento de accidentes de tránsito causados por los conductores en estado de embriaguez ha aumentado considerablemente, según la Agencia Nacional de Tránsito el 9,73% de los accidentes son causados por este motivo, por lo que se debe mejorar la seguridad en los automotores.

Con la idea de prevenir accidentes causados por embriaguez del conductor, la industria automotriz ha implementado en varios automotores sistemas capaces de detectar si la persona que está conduciendo ha ingerido alcohol y si supera los límites establecidos, cuando esto ocurre se activa un sistema de bloqueo que mediante la acción de elementos electrónicos como sensores y actuadores bloquea el automotor.

Finalmente con el desarrollo de esta investigación se ha logrado un avance tecnológico en los automóviles en lo que se refiere a aplicaciones eléctricas - electrónicas y que contribuye a mejorar la seguridad en las vías.

Objetivo general

Diseñar e implementar un alcoholímetro electrónico mediante el uso de un dispositivo de bloqueo en el vehículo para disminuir los accidentes de tránsito producidos por los conductores en esta do de embriaguez.

Objetivos específicos

- Investigar los componentes del sistema electrónico de un alcoholímetro

- Diseñar los circuitos electrónicos del alcoholímetro
- Construir un módulo de prueba del sistema electrónico del alcoholímetro
- Realizar pruebas correspondientes al funcionamiento del sistema

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Método

El estudio para este proyecto se basa en seleccionar una alternativa que pueda ayudar a prevenir los accidentes de tránsito causados por conductores en estado de embriaguez, los parámetros que intervienen en el diseño, construcción e instalación del sistema de bloqueo activado por medios electrónicos fueron determinados a través de una investigación de campo y mediante el uso de variables cuantificables que permitan desarrollar un planteamiento matemático para demostrar las suposiciones planteadas.

La investigación se desarrolló utilizando el método analítico con el cual se menciona las siguientes etapas en el desarrollo de la misma:

Fase I

En la primera fase se determinaron los parámetros para el diseño del sistema, entre los cuales por sus características se mencionan sensores de detección de alcohol tipo MQ3 y un sensor de presión de aire MPXV7002DP; la señal de velocidad se tomó del sensor VSS del vehículo, éstos trabajan en conjunto con el módulo electrónico para bloquear al vehículo cuando exceda los parámetros establecidos de nivel de alcohol. (CEIARTEUNTREF. Sensores de presión de aire, 1997)

Fase II

El diseño del circuito de control del sistema corresponde a la segunda etapa, posteriormente se acoplaron los elementos en el protoboard, para realizar las pruebas experimentales mediante la comparación de señales emitidas por el sensor de

alcohol alcotest de marca DRAGER que utiliza la Policía Nacional, las pruebas realizadas fueron de gran utilidad para calibrar los sensores del sistema.

En esta fase se construyó el módulo de control electrónico del sistema cuyo software fue realizado en el programa ATMEL STUDIO de licencia libre en lenguaje de programación C, mientras que la placa fue diseñada en el Programa ALTIUM DESIGNER con su respectiva licencia.

Fase III

Finalmente el sistema de bloqueo del alcoholímetro fue instalado en el vehículo, considerando las adecuaciones necesarias para su funcionamiento tales como: cableado en el vehículo, ubicación correcta de los sensores y conexiones a los sistemas del vehículo y la calibración de los sensores ya incorporados en el vehículo.

Materiales

Los componentes que se utilizaron para la ejecución del presente proyecto, en gran parte son eléctricos y electrónicos como: microcontroladores, relés, resistencias, condensadores, reguladores, cable, sensores entre otros.

3. RESULTADOS

El sistema de nivel de alcohol para vehículos implementado tiene como característica la utilización de sensores que detectan el nivel de alcohol en el ambiente, estos sensores actúan en conjunto con otras señales del sistema, como la señal de velocidad y arranque del vehículo, mediante la lectura de estas señales el módulo de detección de alcohol realiza el bloqueo en el vehículo, si el nivel de alcohol es superior a 0,3 g / l, de esta manera se produce un corte en la presión del combustible para bloquear su sistema de alimentación, el vehículo se apaga si la velocidad es menor a 40 Km/h y si es mayor, se producen cortes temporizados en la presión de combustible hasta que el vehículo se detenga.

Fase I

Realizada la verificación de los componentes y de acuerdo a las características que se desean para el proyecto establecido se procedió a escoger los componentes que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.
Componentes principales del Alcoholímetro

Elemento	Detalle
Resistencias	1K, 10k, 470 (smd 0805)
Transistores	MTM2222A (smd SOT23-3L)
Capacitores	100nF (smd 0805)
LM2596S DC-DC step-down module	43.6 * 21.5 * 13.5mm (L*W*H) Vin 4.5-35V, Vout: 3-33.5V (ajustable), Io: 2A, max 3A smd
LM7805	Regulador de voltaje
Arduino MP3 shield	mp3, wav, Serial, Flash, SD, USB, Vin:5v (2100 milx1850 mil)
MQ3	Sensor de Alcohol
MPXV7002	Sensor de presión diferencial smd
Atmega 164p	microrcontrolador smd
LCD	20x4
Relé	5V
Diodo	1n4007
Espadines	macho, hembra
Cables	Cables para conexión del sistema
Borneras	
Estaño	
Placa doble lado	
Carcasa	

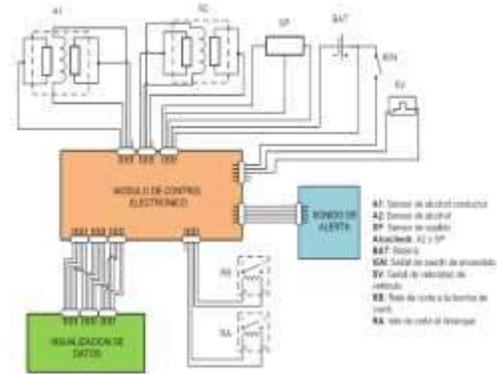


Figura 1. Entrada y salida de datos del módulo de control

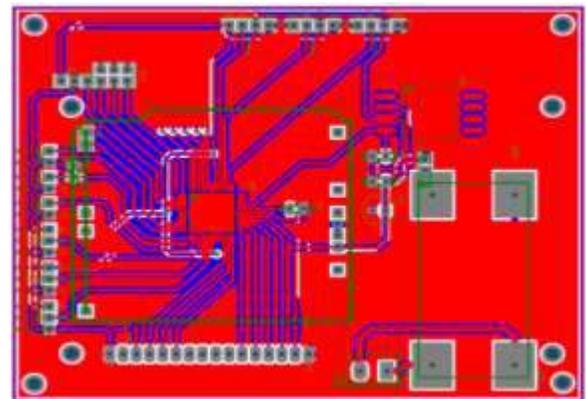


Figura 2. Ruteado en la placa principal

FASE II

Módulo de control electrónico

Una vez determinado los componentes del sistema, para diseñar el circuito se procedieron a determinar las entradas y salidas de datos del módulo de control; con el fin de simular el funcionamiento y proceder al diseño y construcción de la placa del circuito. (ANGULO, 2005)

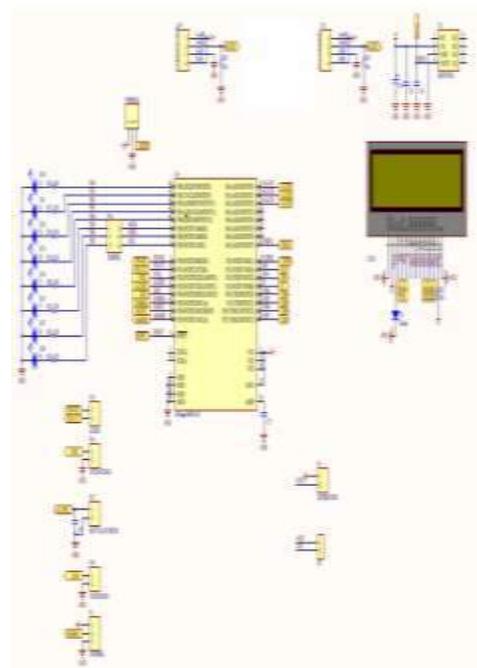


Figura 3 Circuito del módulo del control del alcoholímetro

Pruebas preliminares del sistema alcoholímetro

Sensor de detección de alcohol para la verificación de los sensores MQ3 se realizaron pruebas de voltaje y continuidad en el cual se simuló varios tipos de bebidas con diferente grado alcohólico, ante lo cual el sensor a mayor grado alcohólico enviaba señales altas de voltaje, comprobando así que el sensor trabaja correctamente. Los valores de voltaje en que trabajan estos sensores son de 0,5 a 4,5 voltios.

Sensor de velocidad Para la comprobación del sensor de velocidad se utiliza un osciloscopio, como se mencionó la velocidad del vehículo es tomada del tablero de instrumentos, por lo que se conecta el osciloscopio al cable de señal de velocidad del vehículo y se procede a observar la gráfica. El sensor envía los datos mediante ondas cuadradas que corresponden a una forma de onda digital, que está acorde con este tipo de señal.

Tabla 2. Datos de velocidad del vehículo y frecuencia

VELOCIDAD (KM/H)	0	10	20	30	40	50	60
FRECUENCIA (HZ)	0	8,268	12,461	19,563	26,46	33,46	40,08

Sensor de detección de soplido Para comprobar el funcionamiento del sensor de detección de soplido se realizaron pruebas experimentales, cuando una persona sopla en el sensor se produce una variación de voltaje, es así que de acuerdo a la presión de soplido programada, se procedió a soplar en el sensor dando como resultado que si aplicamos como mínimo una fuerza de soplido a la establecida, el sensor detecta que la persona soplo en el mismo.

La señal que emite este sensor se complementa al enviado por el sensor de alcohol del alcocheck incorporado en el vehículo.

Calibración del sistema antes del montaje en el vehículo se calibraron previamente los sensores de

alcohol (A1 y A2), antes de instalarlos en el vehículo, debido a que inicialmente se requería de un valor para la programación del módulo, esta prueba arrojó los siguientes valores:

FASE III

Pruebas de funcionamiento del sistema

Se procedió a implementar el sistema del alcoholímetro en el vehículo Mazda BT-50, el cual en base a la cantidad de alcohol, permite o bloquea el funcionamiento normal del vehículo.



Figura 4. Módulo de control electrónico del alcoholímetro

Calibración de los sensores en el vehículo una vez instalado los sensores de detección de alcohol en el vehículo se realizó nuevamente otra calibración, con el fin de comprobar que los datos enviados por los sensores coincidan con los valores de lectura del alcotest Drager.

Tabla 3. Prueba inicial de los sensores de alcohol

ALCOTEST DRAGER	SENSORES DE ALCOHOL	
	A1 (Conductor)	A2 (Alcocheck)
GRADOS DE ALCOHOL (g/l)		
0,04	339,75	532
0,69	409,5	816,3
1,07	593,66	854,3

Los valores resultantes variaron con respecto a la anterior prueba, debido que en la anterior prueba únicamente se lo realizó en el protoboard, en tanto que la prueba en el vehículo contemplo la inclusión de elementos como el cableado y filtros para evitar

interferencias a causa del ruido que se genera en el sistema, dando como resultado la lectura real que envía los sensores, es así que se tiene la siguiente tabla:

Tabla 4. Prueba final de los sensores de alcohol

ALCOTEST DRAGER	SENSORES DE ALCOHOL	
GRADOS DE ALCOHOL (g./l)	A1 (Conductor)	A2 (Alcocheck)
0	450	350
0,04	695	589
0,12	850	817
0,76	981	943

Como medida de seguridad cuando el conductor desea encender el vehículo, el sistema solicita realizar una prueba de alcotest para comprobar que el conductor se encuentre por debajo del nivel de alcohol permitido. De igual forma sucede cuando el vehículo se bloquea, para desbloquearlo hay que realizar la prueba de alcotest.

Para alertar al conductor, se instaló una alarma que notificara al conductor cuando el nivel de alcohol exceda el límite permitido en la Ley de Transito del Ecuador y para evitar accidentes cuando el vehículo detecta elevado el nivel de alcohol, y si el vehículo se encuentra en movimiento, el sistema actúa en base a la velocidad del vehículo.

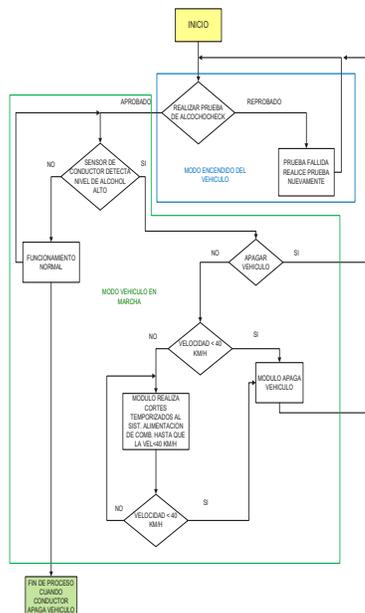


Figura 5. Diagrama de operación del alcoholímetro

4. DISCUSIÓN

Los materiales electrónicos se obtuvieron a nivel local sin embargo elementos como los sensores MQ3 y el microcontrolador son escasos en el medio, los cuales se tuvo que buscar afuera del país y el tiempo de llegada fue extenso, sin contar que cuando si estos elementos sufrían averías, obligaba nuevamente realizar un nuevo pedido, incrementando el tiempo de ejecución del proyecto, si en el país existiese en gran cantidad este tipo de componentes el costo y tiempo de ejecución del proyecto sería menor.

Si no se hubiese realizado la calibración de los sensores MQ3 con el alcotest marca DRAGER que utiliza la Policía Nacional, el sistema no habría sido programado con los niveles de alcohol permitidos por las leyes de tránsito ecuatorianas.

Se procedió a determinar que el sensor de soplido era necesario para verificar el funcionamiento del alcocheck ya que si solo se utilizaba el sensor MQ3 no se podría verificar si se está realizando la prueba o no en el alcocheck.

Que habría podido pasar si una vez instalado en el vehículo el alcoholímetro no se realizaba nuevas calibraciones de los sensores podía haber fallado al momento de comprobar la presencia de alcohol con los parámetros de las leyes.

La colocación del sensor de alcohol es de gran importancia, pues si a éste no se lo adecuó correctamente la lectura del mismo será deficiente; hay que tomar en cuenta que para este proyecto la posición correcta es en la parte superior del vehículo pues al colocarlo en diferentes puntos del vehículo disminuía su capacidad de leer el nivel de alcohol por el diseño interior de la cabina del vehículo.

Para conectar en el vehículo se determinó que el tipo de cable debe ser flexible AWG N.- 18 pues con otro tipo de cable la señal de los sensores variaba constantemente y no permitían la ejecución del programa.

En el Análisis Económico el costo por unidad producida fue de \$394,31 y el precio de venta del producto será de \$ 1,000, este valor incluye instalación y pruebas del sistema en el vehículo realizando el cálculo de 5 equipos vendidos al mes se obtendrá una ganancia eficaz; se concluye que el número mínimo de unidades a producirse al mes es de 3 unidades, para que la empresa no declare pérdidas. Se determinó que el proyecto es viable debido a que el TIR (45,2%) es mayor que el TMAR (22%).

La implementación del alcoholímetro en un vehículo permite la apertura a investigar nuevas tecnologías a ser aplicadas a los vehículos comerciales, dado que la mayoría de los fabricantes de automotores implementan tecnologías de última generación a prototipos y vehículos de alta gama, el cual resulta inaccesible para la mayoría de la población. El sistema de alcoholímetro beneficia especialmente a la seguridad del conductor y sus acompañantes, mediante el bloqueo del vehículo si el conductor se encuentra en estado de embriaguez, sin embargo el sistema es un medio que pretende concientizar a las personas y analizar los riesgos que involucra conducir alcoholizado, ya que de no ser el caso el sistema es vulnerable a posibles engaños, que pueden ser evitados incrementando componentes adicionales a los instalados como por ejemplo sensores que detecten presencia de alcohol a través de la transpiración de la piel o elementos que detecten la dilatación de las pupilas de los ojos, el cual a más de evitar la conducción en estado etílico, también podrá prevenir si el conductor tiende a dormir cuando conduce.

5. CONCLUSIONES

El estudio de este proyecto ha permitido identificar las causas que producen los accidentes de tránsito en el Ecuador, en los datos oficiales indicados por la ANT la embriaguez es una de las tres principales causas de accidentes de tránsito.

Se cumplió con el objetivo planteado, es decir se ha implementado un alcoholímetro de detección automática y alcocheck en la camioneta Mazda BT-50.

El uso de sensores de alcohol en el vehículo permite que los conductores se limiten a conducir cuando hayan bebido alcohol, pues a más de incumplir las leyes de tránsito, el conductor podrá conducir el vehículo si su índice de alcohol es menor a 0,3 gr/l.

La incorporación de sistemas que detecten alcohol con comandados electrónicos, en vehículos son una opción de seguridad y bienestar para la sociedad.

El control de funcionamiento automático del sistema se ha realizado en función de la señal de los sensores de alcohol y velocidad, el cual dependiendo de las lecturas de estos sensores el módulo de control actúa en los sistemas de alimentación de combustible y arranque de motor.

Todos los conocimientos adquiridos durante la formación profesional se han aplicado en la construcción e implementación de este proyecto.

El análisis económico del proyecto resultó aceptable, el cual cumple con las expectativas acerca de la implementación del alcoholímetro en un vehículo, deduciendo que existe una muy buena posibilidad de abrir mercado con relación a este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS RINCON DE LA CIENCIA.COM. Pruebas de soplido. 2010.

<http://rincondelaciencia.educa.madrid.org/practica2/pajita/fuerza/fuerza.html>. [En línea] 2010. [Citado el: 12 de 8 de 2013.]

AFICIONADOS A LA MECANICA.Sistema de alimentación del combustible. 2010.

<http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion-k-jetronic.htm>. [En línea] 2010. [Citado el: 1 de 2 de 2013.]

ANGULO, Jose. 1997. *Microcontroladores PIC Diseño Practico de Aplicaciones.* Madrid : Mc Graw Hill, 1997.

CEA.Sistema de seguridad pasiva. 2012.

<http://www.cea-online.es/reportajes/seguridad.asp/>.

[En línea] 2012. [Citado el: 15 de 2 de 2013.]

CEIARTEUNTREF.Sensores de presión de aire.

1997.

<http://www.ceiarteuntref.edu.ar/badarte/node/97>. [En

línea] 1997. [Citado el: 24 de 1 de 2013.]

DMV.Concentración de alcohol en la sangre.

2012.

http://www.dmv.ca.gov/pubs/hdbk/actions_drink.htm?lang=es. [En línea] 2012. [Citado el: 39 de 8 de

2012.]

FUNDACIÓN LUCHEMOS.Factores que inciden en los accidentes de tránsito. 2012.

<http://www.luchemos.org.ar/revistas/articulos/rev31/pag02.pdf>. [En línea] 2012. [Citado el: 20 de 8 de

2012.]

GERSCHIER, Stuttgart. 1999. *Tecnología del Automovil.* Madrid : Cultural S.A., 1999, pág. 251.

HAYNES, Jhon. 2000. *Manual Haynes de Electricidad y Electrónica Automotriz.* California : Haynes de North America, 2000.

<http://www.monografias.com/trabajos35/tipos-riesgos/tipos-riesgos.shtml>.

<http://www.monografias.com>. [En línea]

LARA, Esmeraldas. 2012.

<http://www.monografias.com/trabajos81/alcoholismo-o-antecedentes-diagnostico-tratamiento/alcoholismo->

[antecedentes-diagnostico-tratamiento.shtml](#). *El alcohol y sus indices de mortalidad.* 2012.

MENA, Euro y MULLO, Jose. 2005. *Diseño y Construcción de un Alcoholímetro para Automovil con Dispositivo de Bloqueo.* TESIS. ESPE.

Latacunga, Cotopaxi, Ecuador : s.n., 2005. pág. 45.

PRIMA, MATERIA. 2013.

http://es.wikipedia.org/wiki/Materia_prima. [En

línea] 2013. [Citado el: 12 de 5 de 2013.]

SENSIBILIDAD, ANALISIS DE. 2008.

http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_sensibilidad. [En línea] 2008. [Citado el: 4 de 10 de

2013.]

SOLOSTOCKS.COM.Tipos de alcoholímetros.

2010. <http://www.solostocks.com>. [En línea] 2010.

[Citado el: 25 de 1 de 2013.]

TRANSEUNTE.Accidentes de tránsito. 2012.

<http://coleccion.educ.ar/coleccion/CD16/contenidos/docente/textos/index5.html>. [En línea] 2012. [Citado

el: 12 de 8 de 2012.]

Análisis de las emisiones y opacidad al inyectar hidrógeno en proporciones en el motor diésel

Analysis of emissions and opacity when injecting hydrogen in proportions in the diesel engine

Germán Erazo Laverde ¹, Jhon Jara Martínez ², Alex Cevallos Carvajal ³ Leonidas Quiroz Erazo ⁴, Darío Borja Soto ⁵,
^{1,2,3,4,5} Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Energía y Mecánica.
Latacunga - Ecuador

wgerazo@espe.edu.ec¹, jdjara1@espe.edu.ec, ascevallos1@espe.edu.ec, laquiroz@espe.edu.ec, dxborja1@espe.edu.ec

Resumen

La investigación presenta el análisis de los gases de escape y la opacidad que se produce en el motor diesel de 3000 c.c. al inyectar hidrogeno de forma dual, en diferentes proporciones siendo el 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad máxima de producción del generador de hidrógeno, a 2800 m.s.n.m. en la ciudad de Latacunga, en un volumen máximo de 4 litros por minuto como valor máximo. El hidrógeno se obtiene por electrólisis que separa las moléculas de hidrógeno y oxígeno con la aplicación del electrolito. La inyección de hidrógeno en el diésel reduce la opacidad y emisiones de gases de escape. por la combustión en el motor. Se detalla el método empleado en la implementación del generador de hidrogeno, así como de la medición de gases y opacidad. El valor máximo de reducción de opacidad de los gases de escape es del 50%.

Palabra clave:

Inyección, Hidrógeno, Electrólisis, Opacidad, Gases de escape, Ciclo Diésel.

Abstract

The research presents the analysis of the exhaust gases and the opacity that occurs in the 3000 c.c. diesel engine. when injecting hydrogen, in a dual way, in different proportions being 25%, 50%, 75% and 100% of the maximum production capacity of the hydrogen generator, at 2800 meters above sea level in the city of Latacunga, in a maximum volume of 4 liters per minute as maximum value. Hydrogen is obtained by electrolysis that separates the hydrogen and oxygen molecules with the application of the electrolyte. The injection of hydrogen into diesel reduces the opacity and emissions of exhaust gases. by combustion in the engine. The method used in the implementation of the hydrogen generator as well as the gas measurement and opacity is detailed. The maximum value of opacity reduction of the exhaust gases is 50%.

Index terms:

Injection, Hydrogen, Electrolysis, Opacity, Exhaust gases, Diesel cycle.

I. INTRODUCCIÓN.

El vehículo con motor diésel es un sistema contaminante durante todo su ciclo de operación por los mantenimientos y al final de su vida útil [1]. Una posibilidad para reducir la contaminación es utilizar un combustible secundario para trabajar de una forma dual diésel-hidrógeno lo cual reduce al menos la mitad de la actual contaminación [2] atmosférica, además que el hidrógeno obtenido por la electrólisis convencional llega a ser más barato que el combustible convencional en términos general dependiendo del precio actual del petróleo

El uso del hidrógeno como combustible alternativo es atractivo ya que posee muchas ventajas siendo no tóxico, no carbonífera y posee gran potencial [3],[4], es un gas incoloro que no causa ningún impacto ambiental o de salud directo [5].

El hidrógeno posee propiedades únicas de combustión lo cual hacen que sea ideal para los motores de encendido por compresión (CI) ya que mediante la auto-ignición del diésel puede actuar como un piloto para combustionar el hidrógeno [6]. Teniendo en cuenta que el hidrógeno requiere una cantidad muy baja de energía para encender, pero tiene tasas de propagación de llama alta dentro del cilindro del motor [7].

El proceso de combustión de los motores de compresión no es perfecto, en consecuencia, los motores de los automóviles emiten varios tipos de contaminantes [8]. Siendo inofensivos el nitrógeno, oxígeno, CO₂, hidrógeno, vapor de agua y por otro lado las nocivas monóxido de carbono CO, hidrocarburos HC, óxidos de nitrógeno, plomo y compuestos de plomo Pb, dióxidos de azufre SO₂, hollín, etc. [9].

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

El diseño de la investigación considera la problemática de la contaminación y polución, la metodología es de tipo experimental y sustentada en los métodos de matematización con trabajos de campo. La Hipótesis planteada es verificable ya que se trata de definir el efecto del hidrógeno en los gases y emisiones. Para verificar la misma se recurre a la experimentación a través del uso de equipos y herramientas especializadas. La metodología tiene su sustento en el siguiente proceso.

Se obtienen 4 litros de hidrógeno por minuto con un consumo de 20 amperios, para su producción es necesario un electrolito en proporción de 20 gramos por cada litro de agua, para abastecer de las diferentes proporciones de hidrógeno se controla la corriente suministrada al generador mediante el módulo de control de ancho de pulso modulado PWM que reduce el amperaje para cada etapa los valores se detallan en la tabla 1.



Figura 1 Diseño de la investigación

Tabla 1

Valores de amperaje y producción de hidrógeno en cada etapa

Detalle	Amperaje aproximado	Caudal aproximado de hidrógeno
Amperaje consumido total "100%" del generador de hidrógeno	20 amperios	4 lt/min
Amperaje al 75% del generador de hidrógeno	15 amperios	3 lt/min
Amperaje al 50% del generador de hidrógeno	10 amperios	2 lt/min
Amperaje al 25% del generador de hidrógeno	5 amperios	1 lt/min

La implementación del generador se la realizó para las pruebas en un motor a diésel de 3000 cc tipo riel común, se ubicó en la parte frontal y la cañería de alimentación se conectó perpendicularmente a la toma del depurador antes del turbocompresor.



Figura 2 Instalación del generador de hidrógeno

Con la instalación del equipo realizada se efectúa las pruebas de opacidad considerando la norma INEN a través del equipo especializado que verifica el cumplimiento de la misma.



Figura 3 Opacímetro

Para el análisis se realizan tres pruebas de cada etapa para corroborar datos en total se realizaron los test correspondientes que generan el respectivo informe, figura 4 .

ESPE LATACUNGA Tel: 0000000 Email:	
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: DARIO APELLIDO: BORJA IDENTIFICACION: 1725562969	DATOS DEL VEHICULO PLACA: PCP2288 MODELO: 2016 MARCA: CHEVROLET LINEA: DMAX NUMERO DE MOTOR: VIN: 8LBETF3NXF0306977 DIAM. EXHOTO: 60.00
PRUEBA EN BAYO: 0.47 % PRUEBA 1: 0.04 % PRUEBA 2: 0.45 % PRUEBA 3: 0.83 % OPACIDAD: 0.45 % FECHA Y HORA DE LA PRUEBA: 4/4/2017 15:52:47	DISPOSITIVO DE MEDICION \$181 RPM RALENTI 704 RPM RPM GOBERNADA 4280 RPM TEMPERATURA DE OPACIDAD 0 ° NORMA OPACIDAD LIMITE 15.00 % MOTIVO: RESULTADO: APROBADA OPERARIO RESPON SABLE: QUIROZ
ESPE LATACUNGA Tel: 0000000 Email:	
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: DARIO APELLIDO: BORJA IDENTIFICACION: 1725562969	DATOS DEL VEHICULO PLACA: PCP2288 MODELO: 2016 MARCA: CHEVROLET LINEA: DMAX NUMERO DE MOTOR: VIN: 8LBETF3NXF0306977 DIAM. EXHOTO: 60.00
PRUEBA EN BAYO: 0.47 % PRUEBA 1: 0.04 % PRUEBA 2: 0.45 % PRUEBA 3: 0.83 % OPACIDAD: 0.45 % FECHA Y HORA DE LA PRUEBA: 4/4/2017 15:52:47	DISPOSITIVO DE MEDICION \$181 RPM RALENTI 704 RPM RPM GOBERNADA 4280 RPM TEMPERATURA DE OPACIDAD 0 ° NORMA OPACIDAD LIMITE 15.00 % MOTIVO: RESULTADO: APROBADA OPERARIO RESPON SABLE: QUIROZ

Figura 4 Informe opacímetro

El analisis de emisiones se realizó mediante el analizador de cinco tipos de gases, el cual requiere calibración previo y de acuerdo el protocolo de pruebas normalizado con varios rangos de velocidad del motor desde ralenti (750rpm), 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm, 3000rpm y 3500rpm; esto para cada una de las etapas de inyección de hidrógeno.



Figura 5 Analizador de gases

Es necesario verificar el estado del sistema de filtrado y recepción de la muestra por lo corrosivo de las emisiones diesel, el medidor de gases genera otro tipo de informe que posteriormente es tabulado para los respectivos análisis como muestra la figura 6.

ANÁLISIS GASES ESCAPE			
ANALIZADOR	AGS-688	CUENTARREVOLUCIONES	GPRPM-300
Número de serie	16051300054	Número de serie	101070014400
ADDRESS		NAME	
ZIP - CITY		TELEPHONE	FAX - EMAIL
Datos del vehículo:			
Marca	: CHEVROLET	Modelo	: DMAX
Matricula	: PCP 2288	No. Chasis	: 8LBETF3NXF0306977
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 70000
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	96
RPM	[1/min]	:	3470
COcorr	[%Vol]	:	0.25
Lambda	[-]	:	4.815
CO	[%Vol]	:	0.05
CO ₂	[%Vol]	:	3.0
HC	[ppmVol]	:	1
O ₂	[%Vol]	:	16.5
NO	[ppmVol]	:	286
Fecha y hora prueba	:	05/04/2017 12:09	
Sello			
Firma			

Figura 6 Informe analizador de gases AGS-688

III. RESULTADOS

Del equipo medidor de opacidad se obtuvo las mediciones para el motor estándar y con inyección de hidrógeno en sus diferentes caudales de prueba, misma que fueron tabuladas.

Tabla 2. Datos obtenidos de opacidad en las distintas etapas de prueba

	STD (%)	25% de H2 (%)	50% de H2 (%)	75% de H2 (%)	100% de H2 (%)
Medición 1	1,24	0,9	0,51	0,83	0,45
Medición 2	1,03	0,71	0,74	0,61	0,54
Medición 3	1,1	0,77	0,9	0,37	0,59
Promedio	1,12	0,79	0,72	0,60	0,53
Resultado porcentual	100 %	70,62%	63,80%	53,71%	46,88%

La tabla 2 presenta las mediciones tomadas para cada porcentaje de hidrógeno adicionado con motor estándar, cada una de las pruebas considera tres mediciones obteniendo un promedio del cual se calcula su resultado en porcentaje.

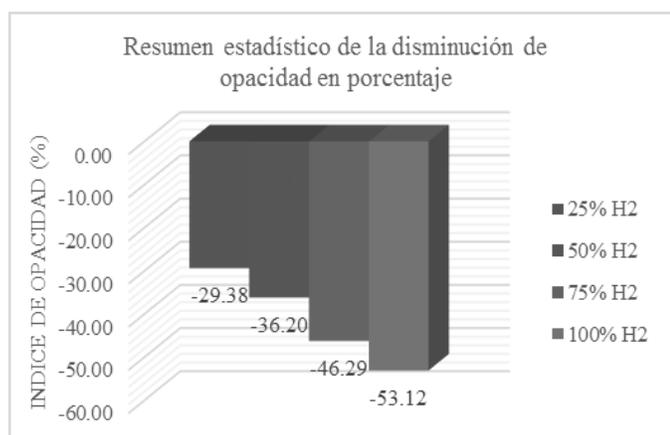


Figura 7 Resumen estadístico de la medición de opacidad

En la figura 7 se presenta la comparación en porcentaje la disminución de la opacidad con respecto al estándar del motor diésel, obteniendo una disminución notable para cada caudal de hidrógeno siendo la más representativa con un 53,12% al inyectar 100% de la capacidad del generador de hidrógeno.

Para el análisis de gases se generan las tablas 3 y 4 con los datos obtenidos en cada rango de revoluciones, así también a cada condición de ingreso de hidrógeno empezando los valores con el motor estándar sin adición de hidrógeno.

Tabla 3
Análisis de gases del motor diésel estándar

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (% vol)	CO2 (% vol)	HC (ppm vol)	O2 (% vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	78	0.03	1.6	0	18.6	140	0
	2	78	0.03	1.6	0	18.6	145	0
	Promedio	78	0.03	1.6	0	18.6	142.5	0
1500	1	79	0.08	1.7	0	18.3	74	0
	2	80	0.07	1.7	0	18.4	78	0

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (% vol)	CO2 (% vol)	HC (ppm vol)	O2 (% vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
2000	Promedio	79.5	0.075	1.7	0	18.35	76	0
	1	82	0.16	1.9	0	17.9	73	0
	2	84	0.14	2	0	18.2	88	0
2500	Promedio	83	0.15	1.95	0	18.05	80.5	0
	1	85	0.2	2.2	0	17.6	82	0
	2	87	0.2	2.1	0	17.7	85	0
3000	Promedio	86	0.2	2.15	0	17.65	83.5	0
	1	88	0.14	2.5	1	17.6	127	0
	2	91	0.1	2.5	2	17.3	143	0
3500	Promedio	89.5	0.12	2.5	1.5	17.45	135	0
	1	92	0.05	2.9	0	16.9	261	0
	2	94	0.04	2.9	1	16.8	283	0
Promedio Total		84.83	0.103	2.13	1.00	17.825	131.5	0.00

La tabla 4 presenta los datos obtenidos con la adición del 25% de la capacidad total de generación de hidrógeno al motor, a las mismas revoluciones de prueba, recalando que para cada medición se debe mantener por lo menos 15 segundos en ese rango para que los valores se estabilicen y sean válidos.

Tabla 4
Datos obtenidos de la prueba de gases a 25% de hidrógeno

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.5	0	18.9	149	0
	2	87	0.02	1.5	0	18.7	155	0
	Promedio	87.5	0.02	1.5	0	18.8	152	0
1500	1	87	0.07	1.7	0	18.4	84	0
	2	88	0.07	1.7	0	18.3	78	0
	Promedio	87.5	0.07	1.7	0	18.35	81	0
2000	1	89	0.14	1.9	0	18	87	0
	2	90	0.14	1.8	0	18	85	0
	Promedio	89.5	0.14	1.85	0	18	86	0
2500	1	91	0.19	2.3	0	17.6	104	0
	2	91	0.19	2.2	0	17.6	93	0
	Promedio	91	0.19	2.25	0	17.6	98.5	0
3000	1	93	0.1	2.5	2	17.2	143	0
	2	93	0.1	2.6	1	17.3	146	0
	Promedio	93	0.1	2.55	1.5	17.25	144.5	0
3500	1	95	0.06	2.9	0	16.9	275	0
	2	96	0.05	2.9	1	16.7	289	0
	Promedio	95.5	0.055	2.9	0.5	16.8	282	0
Promedio Total		90.67	0.096	2.13	1.00	17.80	140.67	0.00

La siguiente tabla presenta los datos obtenidos en el análisis de gases al 50% de la capacidad total de generación de hidrógeno.

Tabla 5. Datos obtenidos de la prueba de gases a 50% de hidrógeno

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (% vol)	HC (ppm vol)	O2 (% vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	91	0.02	1.5	0	18.7	161	0
	2	90	0.02	1.4	0	18.8	130	0
	Promed.	90.5	0.02	1.45	0	18.75	145.5	0
1500	1	90	0.06	1.8	0	18.3	108	0
	2	90	0.07	1.7	0	18.5	87	0
	Promed.	90	0.065	1.75	0	18.4	97.5	0
2000	1	90	0.14	1.9	0	18.2	99	0
	2	91	0.14	1.9	0	18.1	91	0
	Promed.	90.5	0.14	1.9	0	18.15	95	0
2500	1	93	0.18	2.3	0	17.2	108	0
	2	94	0.19	2.2	0	17.4	105	0
	Promed.	93.5	0.185	2.25	0	17.3	106.5	0
3000	1	93	0.11	2.6	6	17.5	146	0
	2	95	0.1	2.5	5	17.6	166	0
	Promed.	94	0.105	2.55	5.5	17.55	156	0
3500	1	96	0.05	2.9	3	17.2	277	0
	2	99	0.04	2.9	3	17	298	0
	Promed.	97.5	0.045	2.9	3	17.1	287.5	0
Promed. Total		92.67	0.093	2.13	4.25	17.875	148.00	0.00

La tabla 6 presenta los resultados obtenidos en el análisis de gases al 75% de la capacidad total de generación de hidrógeno y efectuando las pruebas con los parámetros planteados y el procedimiento prescrito.

Tabla 6

Datos obtenidos de la prueba de gases a 75% de hidrógeno

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.6	0	19.1	139	0
	2	87	0.02	1.6	0	18.5	150	0
	Promedio	87.5	0.02	1.6	0	18.8	144.5	0
1500	1	88	0.07	1.7	0	18.1	84	0
	2	90	0.07	1.7	0	18.2	90	0
	Promedio	89	0.07	1.7	0	18.15	87	0
2000	1	89	0.15	1.9	0	17.8	87	0
	2	90	0.15	1.9	0	17.8	89	0
	Promedio	89.5	0.15	1.9	0	17.8	88	0
2500	1	90	0.19	2.2	0	17.4	103	0
	2	92	0.19	2.2	0	17.3	107	0
	Promedio	91	0.19	2.2	0	17.35	105	0
3000	1	92	0.11	2.6	8	17.2	156	0
	2	93	0.1	2.7	7	16.9	169	0
	Promedio	92.5	0.105	2.65	7.5	17.05	162.5	0
3500	1	94	0.05	3	5	16.6	281	4.818
	2	96	0.05	3	1	16.5	302	4.799
	Promedio	95	0.05	3	3	16.55	291.5	4.8085
Promedio Total		90.75	0.098	2.18	5.25	17.617	146.42	4.809

Los datos obtenidos al realizar la prueba de gases a la máxima capacidad de generación de hidrógeno presentan los siguientes resultados.

Tabla 7. Datos obtenidos de la prueba de gases a 100% de hidrógeno

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (% vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.6	0	18.5	157	0
	2	88	0.02	1.6	0	18.5	159	0
	Promed.	88	0.02	1.6	0	18.5	158	0
1500	1	89	0.08	1.7	0	18.2	79	0
	2	89	0.07	1.7	0	18.3	86	0
	Promed.	89	0.075	1.7	0	18.25	82.5	0
2000	1	89	0.14	2	0	17.9	94	0
	2	90	0.15	1.9	0	17.8	91	0
	Promed.	89.5	0.145	1.95	0	17.85	92.5	0
2500	1	91	0.19	2.2	0	17.5	102	0
	2	92	0.19	2.3	0	17.4	102	0
	Promed.	91.5	0.19	2.25	0	17.45	102	0
3000	1	94	0.1	2.7	8	16.9	160	0
	2	96	0.1	2.7	5	17.3	185	0
	Promed.	95	0.1	2.7	6.5	17.1	172.5	0
3500	1	96	0.05	3	1	16.5	286	4.815
	2	97	0.05	3	5	16.6	296	4.82
	Promed.	96.5	0.05	3	3	16.55	291	4.8175
Promed. Total		91.58	0.097	2.20	4.75	17.617	149.75	4.818

La comparación de los valores se lo realiza por cada gas individualmente para una mejor visualización y entendimiento de los valores

Análisis de los datos obtenidos del monóxido de carbono CO

La figura 8 describe la variación de los valores de CO en valores promedio de las distintas pruebas de cada etapa.

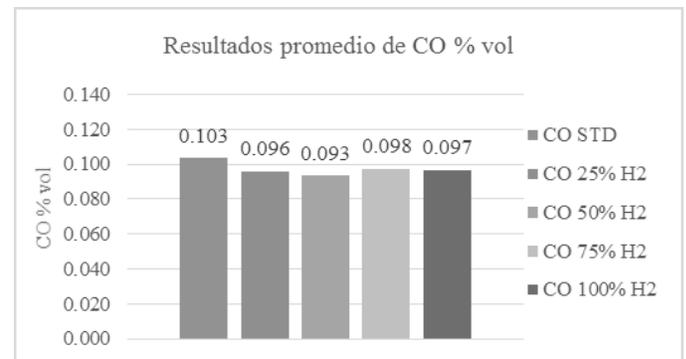


Figura 8 Resultados promedio de CO % vol

La figura 9 muestra los porcentajes de reducción del gas CO con la adición de hidrógeno teniendo que al 25% de la capacidad de generación la reducción fue del 7,26%, al 50% de la capacidad de generación de hidrógeno fue del 9,68% siendo este el porcentaje más alto de disminución del gas, el 75% obtuvo una reducción del 5,65% y el 100% de generación genero una disminución del 6.45%.

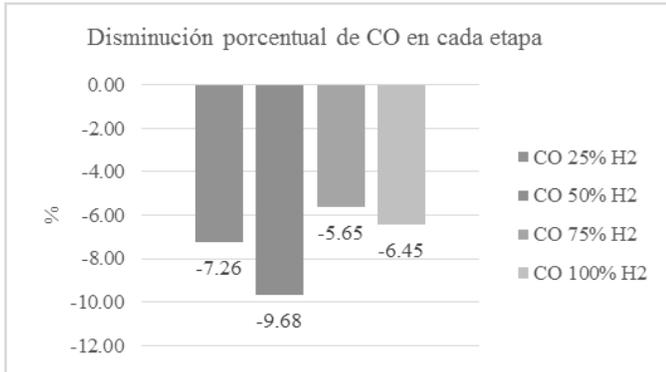


Figura 9 Disminución porcentual de CO en cada etapa

Análisis de los datos obtenidos del dióxido de carbono CO₂

La figura 10 revela los resultados obtenidos al promediar los datos finales de cada prueba obteniendo como valor mínimo el de 2.125 %vol en la condición de 25% de hidrógeno y el mayor de 2.200 %vol perteneciente a la condición de 100% de generación de hidrógeno

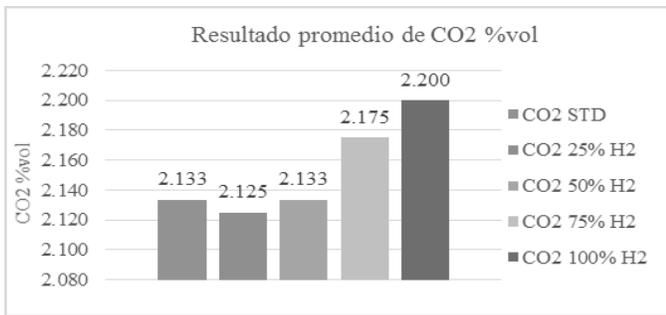


Figura 10 Resultado promedio de CO₂ %vol

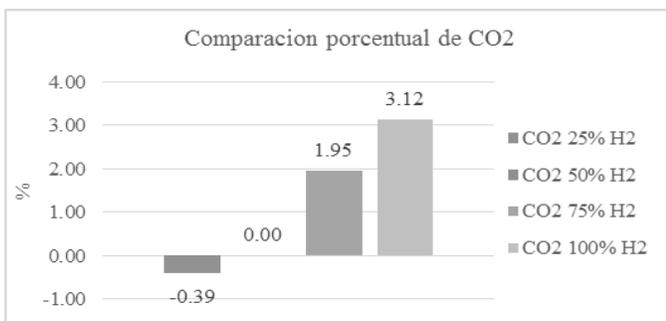


Figura 11 Comparación porcentual de CO₂ %vol

En el gas CO₂ la única condición de generación de hidrógeno conveniente es al 25% de su capacidad máxima ya que se redujo en un 0.39% del valor referente cuando el motor se encontraba de estándar, mientras tanto a un 50% de la capacidad total de generación de hidrógeno mantuvo el valor de medición igual al referente, en la condición del 75% de hidrógeno el valor aumento en 1.95% y en la carga

máxima del generador de hidrógeno al 100% el valor del gas se elevó en un 3.12%.

Análisis de los datos obtenidos de hidrocarburos HC

La figura a continuación muestra los valores promediados totales para un análisis general de los hidrocarburos el cual no es muy positivo porque la única condición favorables es a 25% de la generación de hidrógeno que mantiene el valor referencial, las demás condiciones elevan el valor de HC.

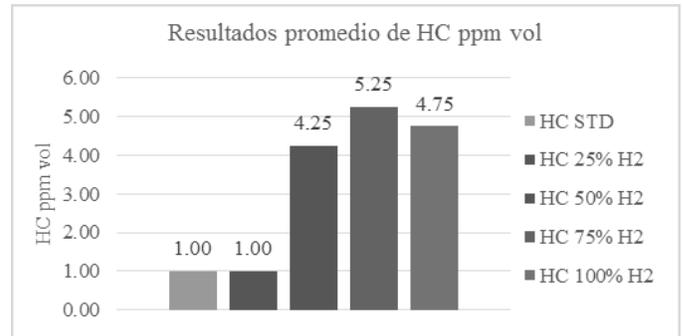


Figura 12 Resultados promedio de HC ppm vol

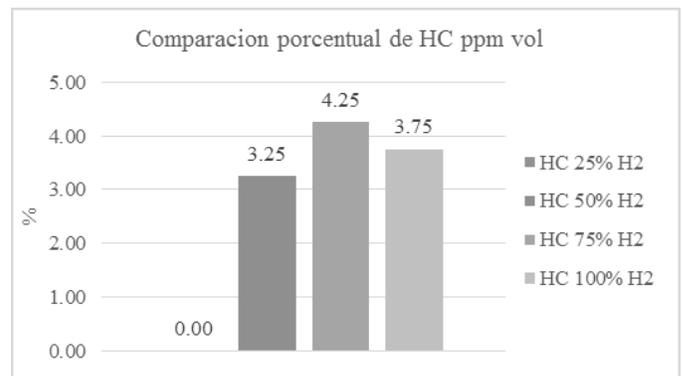


Figura 13 Comparación porcentual de HC ppm vol

La adición de hidrógeno a los hidrocarburos hace que este valor se eleve siendo así que al 100% de su generación total el gas ascendió un 3.75%, al 75% de su generación de hidrógeno produce el valor más alto incrementándolo en un 4.25% de su valor referencial, el 50% de generación incrementa en un 3,25% y por último en la condición de 25% de hidrógeno mantiene el valor respecto al valor referencial en condición estándar.

Análisis de los datos obtenidos de óxidos de nitrógeno NO_x

Al realizar un promedio general de todas las pruebas en cada condición de generación de hidrógeno, se llegó a la conclusión que aumenta en todas las etapas de medición siendo el mayor valor en su máxima generación de hidrógeno con 149.75ppm vol.

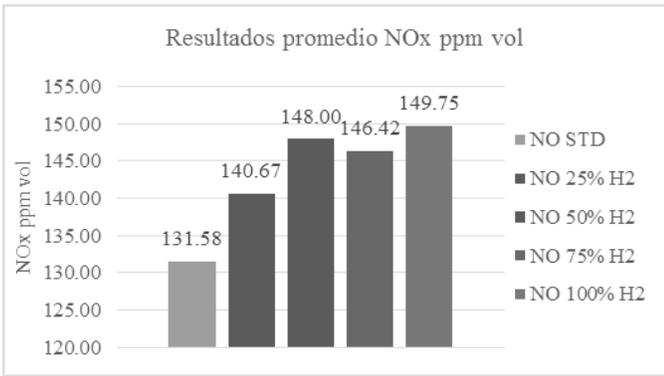


Figura 14 Resultados promedio NOx ppm vol

La siguiente imagen nos revela los valores promediados de la prueba de NOx, al adicionar 25% de hidrógeno aumenta el valor del gas en un 6.90%, al adicionar 50% de hidrógeno el valor aumenta en un 12.48%, el 75% de generación incrementa un 11.27% mientras que el valor máximo se obtuvo al generar hidrógeno en su máxima capacidad, esto aumentó el valor del gas en un 13.81% del valor en estado estándar.

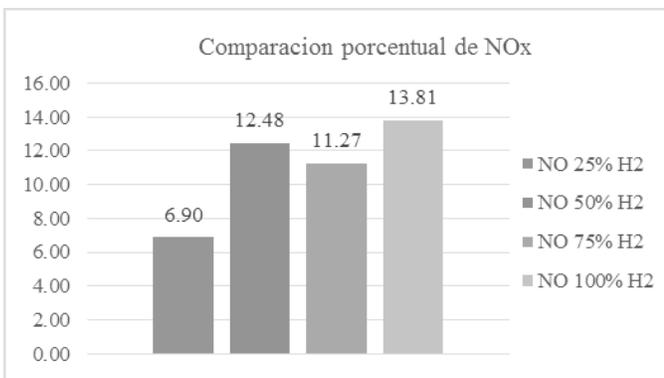


Figura 15 Comparación porcentual de NOx

Análisis de los datos obtenidos de oxígeno O2

El valor más elevado de O2 lo produce la condición de 50% de generación de hidrógeno con el 17.87 %vol, mientras que el valor mínimo lo produjo la condición de 100% de hidrógeno llegando a un valor de 17.61

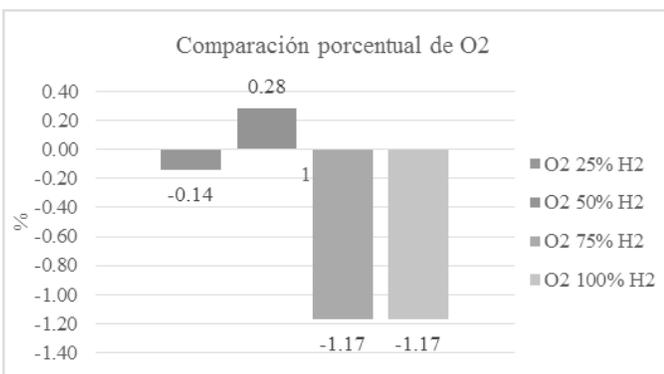


Figura 16 Comparación porcentual de O2

La utilización del hidrógeno disminuye el O2 en los gases de escape siendo el valor más alto en dos condiciones de prueba a 75% y 100% de la generación de hidrógeno disminuyendo en 1.17% respecto al valor referencial del motor estándar, la condición de 50% de hidrógeno aumentó mínimamente el O2 en un 0.28% más y por último la condición de 35% de generación reduce un 0.14% el O2.

Análisis de los datos obtenidos de valor de lambda λ

Las curvas de los valores de lambda son realizadas solo con las condiciones de 75% y 100% de generación de hidrógeno ya que en las anteriores condiciones no registro valores, este valor se produce exclusivamente en altas revoluciones como muestra la siguiente figura tomando los datos promediados de las dos pruebas realizadas mediante el analizador de gases.



Figura 17 Resultados promedio del valor de λ

El valor de lambda se mantuvo en 0 cuando el motor estaba en condición estándar, 25% y 50% de generación de hidrógeno. En las condiciones de 75% y 100% de hidrógeno el valor lambda se visualizó a partir de las 3000rpm en 4.809 en la condición de 75% y 4.818% en la condición de 100% siendo este el valor más alto.

IV. CONCLUSIONES

Se plantea las siguientes conclusiones para que puedan ser tomadas en consideración o como fuente de consulta:

- Se determinó que la proporción óptima es del 100% de la generación de hidrógeno, ya que la opacidad en esta etapa obtuvo la mayor reducción, así como los gases no fueron afectados mayormente.
- Las pruebas de opacidad dieron resultados positivos en la inyección de hidrógeno al 100%, tomando el valor promedio de 3 pruebas en cada etapa, se evidenció la disminución de 1.12% en motor diésel estándar a 0.53% con hidrógeno representado esta reducción en el 53.12 %.

- En las pruebas de gases de escape el monóxido de carbono descendió en todas las etapas de inyección de hidrógeno ya que aumenta la velocidad de llama siendo el más significativo en la etapa del 50% de hidrógeno con la disminución del 9.68% del valor referencial con motor estándar reduciendo de 0.103 % vol a 0.093%vol con hidrógeno, con nuestra selección del 100% de hidrógeno el CO disminuyó el 6.45% a un valor de 0.097%vol, siendo favorable ya que se disminuye los gases y se ayuda al medio ambiente.
- El dióxido de carbono sufrió alteraciones con la adición de hidrógeno disminuyendo en la etapa del 25% de hidrógeno con la disminución del 0.39% del valor referencial con motor estándar reduciendo de 2.133 %vol a 2.125%vol con hidrógeno, con nuestra selección del 100% de hidrógeno el dióxido de carbono aumentó su valor en un 3.12% a un valor de 2.200%vol, siendo este valor permisible y entrando en el rango estimado de aumento de emisiones de escape.
- Se analizó los hidrocarburos combustionados en todas las etapas, pero manteniéndose, siendo en la inyección del 100% de hidrógeno con el aumento de 3.75 ppm vol del valor referencial con motor estándar aumentando de 1.00 ppm vol a 4.75 ppm vol con hidrógeno.
- Los resultados obtenidos de hidrocarburos presentan un aumento notable siendo el más alto y significativo con 5,25 ppm volumen con 75% de inyección de hidrógeno, los datos de HC se registraron en un régimen de trabajo alto más de 3000 revoluciones por minuto esto hace que exista ausencia de oxígeno aumentando de tal manera los hidrocarburos.
- La medición de óxidos de nitrógeno presenta un aumento del 13,81% con una diferencia de 18.17 ppm vol en comparación con el resultado obtenido a motor estándar este incremento se debe a que con la presencia de hidrógeno en la cámara de combustión aumenta la velocidad de llama existiendo un lapso en el que existe compresión de gases combustionados con mayor temperatura y presión originándose de tal manera la cantidad de óxidos de nitrógeno.
- La utilización del generador de hidrógeno en el motor diésel disminuye el oxígeno (O₂) en 1.17% al inyectar hidrógeno al 100% de su capacidad máxima reduciendo de un valor a otro 0.208% vol.

REFERENCIAS

- [1] Eduard, W. J. (2005). Hidrógeno Solar Energía para el Futuro. Barcelona-México: Boixareu.
- [2] Biplab, k., Ujjwal, S., & Sahoo, N. (2014). Efecto de la variación de la cantidad de hidrógeno-diésel en la eficiencia térmica del freno de un motor diésel alimentado dual. *Assam: Journal of Power Technologies*.
- [3] Madhujit, D., Sastry, G., Panua, R., Banerjee, R., & Bose, P. (2015). Efecto de hidrógeno-diésel de combustión de combustible dual de las características de rendimiento y emisión de una de cuatro tiempos de un solo cilindro del motor diésel. Agartala.
- [4] Talibi, M., Hellier, P., Balachandran, R., & Ladommatos, N. (2014). Efecto de combustible de hidrógeno-diésel co-combustión en las emisiones de escape con la verificación utilizando una técnica de muestreo de gas en cilindros. Londres.
- [5] NTE INEN 2202. (2000). Resource.org. Recuperado 03 febrero 2017 Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2202.2000.pdf>.
- [6] A.E. Dhole, R. Y. (2014). Las investigaciones sobre el período de duración de la combustión y de retardo del encendido de un dual motor diésel de combustible con hidrógeno y gas pobre como combustibles secundarios. Elsevier Ltd.
- [7] Calatayud, J. J. (2008). Estudio comparativo del uso de hidrógeno frente a combustibles fósiles en motores de combustion interna en buques.
- [8] Melo Espinosa, E. A., Piloto Rodriguez, R., Goyos Perez, L., Ferrer Frontela, N., & Errasti Cabrera, M. (2013). Investigación experimental de la prestaciones de un motor mono-cilíndrico usando combustible diesel emulsionado. *Ingeniería Energética*, 34(1).
- [9] Kumar, & Senthil, R. (2015). Características de rendimiento, emisión y combustión del Motor de CI alimentado con diésel e hidrógeno. Berlin.
- [10] Loganathan, M. (2015). Rendimiento, emisión y características de combustión del motor de CI alimentado con diésel e hidrógeno. Berlín.
- [11] Sandalci, & Tarkan. (2014). Investigación experimental de las características de combustión, las emisiones y el rendimiento de la inyección de hidrógeno en un motor diésel. Istanbul: Elsevier
- [12] Tsolakis, A., Hernández, J., Megaritis, A., & Crampton, M. (2005). Funcionamiento del motor diésel de combustible dual usando H₂. Efectos sobre las emisiones de partículas. Reino Unido.
- [13] Duque, E., & Masaquiza, J. (2013). Implementación de un generador e inyector de hidrógeno en un motor de vehículo mazda bt-50 2.2l, para reducir emisiones de gases contaminantes. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba
- [14] Diego Juma Yar, H. M. (Abril de 2015). Diseño e instalación de un sistema de alimentación gasolina – hho en el motor de combustión interna del vehículo monoplatza tipo buggy del laboratorio de mecánica de patio de la espe extensión Latacunga. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga
- [15] Aldás Acosta Edgar, E. T. (Junio de 2010). Implementación de un dispositivo que inyecte hidrógeno a un motor a gasolina. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga

Análisis del flujo de aire acondicionado en el habitáculo del vehículo Ford Escape híbrido mediante elementos finitos

*Analysis of the flow of air conditioning in the habitacle of a vehicle ford Hybrid
Escape through finite elements*

Henry Paucar Jarrín ¹, Washington Germán Erazo Laverde ², Leonidas Quiroz Erazo ³, Victor Yupa Loja ⁴, Danilo Zambrano Leon ⁵

^{1,2,3,4,5} Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía

email: ¹hdpaucar@espe.edu.ec, ²wgerazo@espe.edu.ec, ³laquiroz@espe.edu.ec, ⁴vayupa@espe.edu.ec, ⁵vdzambrano@espe.edu.ec

Resumen— La investigación tiene como propósito analizar el flujo de aire en el habitáculo del vehículo Ford Escape Híbrido por el método computacional de simulación de volúmenes finitos, empleando la aplicación del método de diseño mecánico para construir un modelo sin escala del vehículo híbrido, a través de la medición de flujo de aire acondicionado con el anemómetro se aplica la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), por medio de software ANSYS, relacionando el método de volúmenes finitos (FVM) que resuelve numéricamente ecuaciones diferenciales. Esto permite observar en el interior del habitáculo, flujos de aire, la temperatura, presión del aire acondicionado en cualquier ubicación según los parámetros de la malla que se aplica.

Palabras Claves— Híbrido, aire acondicionado, flujo de aire, elementos finitos.

Abstract

The purpose of the research is to analyze the airflow in the hybrid Ford Escape Hybrid vehicle compartment by the finite volume simulation computational method, using the application of the mechanical design method to build a nonscale model of the hybrid vehicle, through the measurement of air conditioning flow with the anemometer is applied Computational Fluid Dynamics (CFD), by means of ANSYS software, relating the finite volume method (FVM) that numerically solves differential equations. This allows to observe inside the cabin, air flows, temperature, air conditioning pressure in any location according to the parameters of the mesh applied

Keywords: Hybrid, air conditioning, airflow, finite elements.

1. Introducción

La climatización de espacios habitables que ocupa el ser humano consiste en crear condiciones de temperatura, humedad y calidad de aire adecuadas para climas fríos o cálidos.

El término “climatización” se basa en tres aspectos que son: la ventilación, la calefacción (para climas fríos) y el enfriamiento (para climas calientes), estos tres conceptos se relacionan con el término HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning).

En [1] se menciona que: La climatización automotriz se refiere al conjunto de sistemas que permiten crear en el interior del vehículo condiciones de temperatura, humedad y ventilación óptimas tales que al conductor puede concentrarse en la conducción, siendo así un medio de seguridad activa, al mismo tiempo haciendo el trayecto lo más confortable posible al conductor y a los pasajeros.

En [2] se manifiesta que un sistema de climatización completo comprende estos criterios:

- Generación de energía térmica
- Transporte de energía térmica para ser utilizada.

El uso de la energía térmica es:

- El aire del exterior o aire de ventilación, que puede ser recirculado, el sistema lo mezcla, trata y lo impulsa hacia la cabina nuevamente.
- El transporte, con el aire tratado previamente, se traslada por los ductos para llevarlo a la cabina y su dispersión en el sitio, de modo que el aire tratado alcance toda la zona considerada.

La reducción del consumo de combustible de los vehículos híbridos debe lograrse, por la eficiencia del sistema de aire acondicionado, en términos de reducción potencial de energía con respecto al aumento de costos y condiciones de los componentes individuales, así como las influencias de los parámetros externos en este caso los cambios climáticos que se presenta en la actualidad. [3].

Este problema puede ser reducido mediante el sistema de refrigeración y calefacción es un parámetro a considerar para mejorar la eficiencia del sistema de control de aire acondicionado, la conducción vehicular diaria afecta al rendimiento del vehículo en un 35% de su funcionamiento por el uso del aire acondicionado por las condiciones térmicas. El mal uso del A/C afecta al rendimiento del motor incrementando el uso de combustible en un 20% [4].

2. Materiales y Métodos

Se considera la norma técnica ecuatoriana INEN 2902:2015 [5] para el desarrollo de la investigación.

Renovación del caudal de aire. - El vehículo debe contar con un sistema de renovación de aire con un apropiado balance de caudales y presiones, que garantice el suministro de aire puro y la extracción del aire viciado proveniente de la combustión no debe ingresar en el interior del vehículo [6].

El proceso inicia con la selección del vehículo para luego modelar su carrocería e estructura interna tridimensional (3D) mediante el uso de un software de diseño asistido por computadora (CAD); para el análisis se emplea la herramienta computacional especializada que permite importar un modelo CAD previamente realizado, al Fluid Flow Dynamics de ANSYS para agregar condiciones de funcionamiento, variables de presión, temperatura y velocidad de aire mediante el cual resolverá y analizará los resultados obtenidos del diseño.

El diagrama de flujo para el análisis del flujo de aire del Ford Escape se observa en la figura 1.

La tabla 1, muestra las características generales del vehículo Ford Escape.

Tabla 1 Características del vehículo híbrido

Marca	Ford Escape
Tipo	Jeep
Año	2010
Marca del compresor	FoMoco (Denso)
Voltaje de bat. (HV)	300
Compresor	Compresor eléctrico
Tipo de sistema de A/C	Tubo de Orificio
Componentes	Compresor Evaporador Condensador Acumulador
Número de difusores	Frontal: 4 Pies: 2

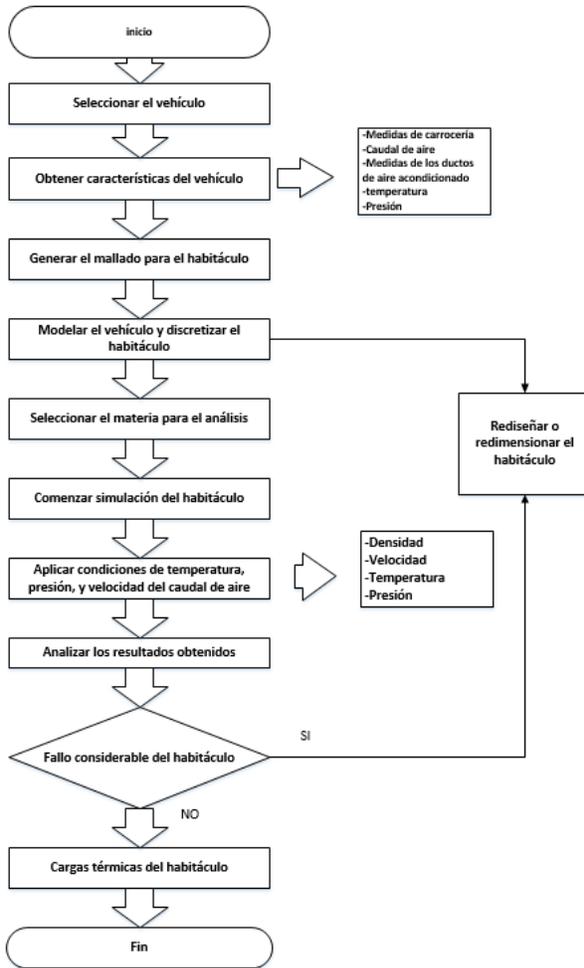


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de Fluid Flow Dynamics

Se realizó las mediciones correspondientes a la carrocería y del habitáculo, necesarias para proyectar el vehículo Ford Escape, en la figura 2, presentan el dimensionamiento del vehículo en estudio ya terminado.

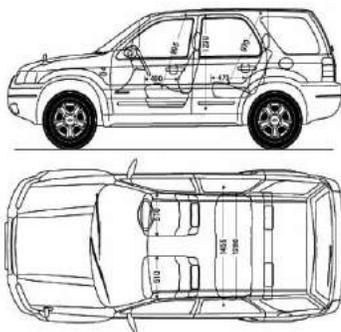


Figura 2. Dimensiones del Ford Escape

Modelo matemático

La Ecuación 1, es la para volúmenes finitos que tiene como ventaja la de trabajar con el término de los flujos sobre el contorno del dominio, con lo cual si el costo computacional es dominado por esta operación la reducción del mismo puede ser notable.

A partir de la ecuación 3, se discretiza las integrales (2) de alguna forma para lograr el sistema discreto final a resolver. Ya que el método es planteado sobre la forma integral de las leyes de conservación es de notar que al satisfacer las mismas sobre cada subdominio implica satisfacerlas sobre el dominio global.

Si se plantea las leyes de conservación sobre los 3 dominios de la figura 3 corresponde a:

$$\int_{\Omega_1} \frac{\partial U}{\partial t} d\Omega + \oint_{ABCA} F \cdot dS = \int_{\Omega_1} Q d\Omega \quad (1)$$

Ec.1

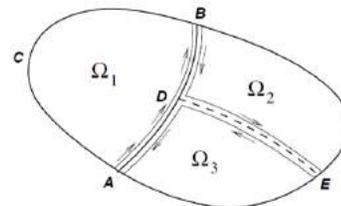


Figura 3. Leyes de conservación para subdominios del dominio

Sumados producen el mismo resultado que si se hubiese aplicado a todo el dominio. Esto se explica ya que dos subdominios vecinos por una cara o arista comparten los términos de flujo, con la diferencia que, debido a la orientación del normal exterior a cada uno, los mismos se deben balancear.

$$\oint_{ED} F \cdot dS = - \oint_{DE} F \cdot dS \quad (2)$$

Esta propiedad debe ser satisfecha si se requiere que el esquema sea conservativo, caso contrario pueden aparecer contribuciones internas produciendo esquemas no conservativos.

La forma discreta de la ecuación 1 es:

$$\frac{\partial U}{\partial t} (U_j \Omega_j) + \sum_{lados} (F \cdot S) = Q_j \Omega_j \quad (3)$$

Donde la suma de los flujos se refiere a todos los contornos externos de la celda de control j. La figura 4

muestra en su parte superior un ejemplo de grilla aplicable a volúmenes finitos. Tomando la celda 1 identificada por los índices (i, j) entonces $U_j = U_{ij}$, $j = \text{área (ABCD)}$ y los términos de flujo se obtienen como suma sobre los 4 lados AB, BC, CD, DA.

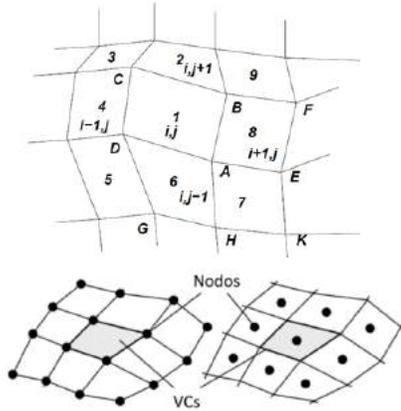


Figura 4. Grillas bidimensionales

Para definir la formula conservativa es:

1. $\sum_j \Omega_j = \Omega$ (4)
2. $\cap W \neq 0$, pueden solaparse solo si los contornos internos que surgen del solapamiento son comunes entre dos celdas.
3. Los flujos en las superficies de las celdas deben calcularse con independencia de, a cuál celda le corresponde.

La condición 2. significa que todos los contornos de las celdas deben pertenecer lo sumo a dos celdas y solo aquellos que están en el contorno exterior del dominio pueden no satisfacer este requisito, y la condición (3) garantiza la conservación.

Modelado geométrico

Mediante el programa de diseño asistido por computador ANSYS (Fluid Flow) se modela el diseño del vehículo Ford Escape dentro del cual se va a extraer y desprejar el contorno interno de la cabina para realizar el análisis del flujo de aire utilizando dimensiones reales y parámetros de presión, temperatura y velocidad del caudal de aire lo cual simula el vehículo en condiciones de funcionamiento reales al accionar el aire acondicionado.

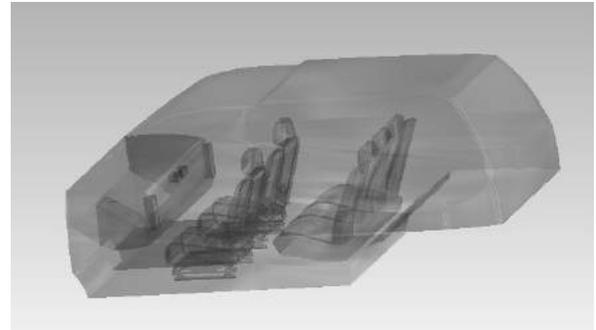


Figura 5. Modelo 3D del habitáculo del vehículo Ford Escape

Mallado

Al extraer el contorno generar una malla mediante el Ansys Workbench Fluid Flow tiene en su mayoría elementos internos y masas del habitáculo discretos para garantizar el modelo matemático eficiente para que la solución computacional resulte razonable y obtener resultados precisos en poco tiempo de la simulación en la figura se observa el mallado de la superficie del habitáculo con 547073 nodos y 2906141 elementos.

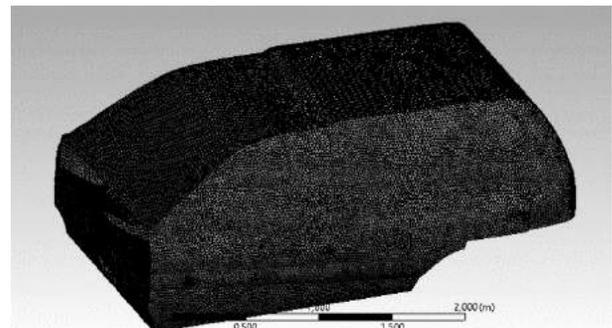


Figura 6. Mallado de Ansys Workbench Fluid Flow

Condiciones de solución

Para la simulación del caudal de aire del habitáculo se consideran las siguientes condiciones:

La temperatura del aire ambiente de 23°C, en la ciudad de Latacunga, el vehículo es Ford Escape, del año 2010. Son 4 los difusores que se miden, salida frontal, (1), (frontal izquierdo), Izquierdo, Derecho (difusor central), (2), (frontal derecho).

Tabla 2. Prueba de flujo de aire con anemómetro

Condición	1	Izquierd	Derech	2
s	o	o		
velocidad 1	1	0,8	0,7	1,1
Temp 1:	22,4	20,5	21,9	20,6
velocidad 2	1,4	1,6	1,4	1,6
Temp 2:	24,8	23,9	25,3	24,2
velocidad 3	1,9	2,4	2,3	2
Temp 3:	26,5	25,5	27,3	25,6
velocidad 4	3,1	3,8	3,3	2,8
Temp 4:	24,6	21,5	21,5	21,8
velocidad 5	3,7	4,5	3,9	4,3
Temp 5:	23,5	21,5	23,5	21,6
velocidad 6	4,7	5,7	4,9	5,1
Temp 6:	23,7	21,7	22,2	22
velocidad 7	5,4	7	6,1	5,5
Temp 7:	21,1	20,6	20	20,3

Simulación

En la figura 7a y 7b, se observa los resultados del flujo del caudal de aire con respecto a las coordenadas de las salidas de los difusores para un tiempo de 0, a 0.20 segundos.

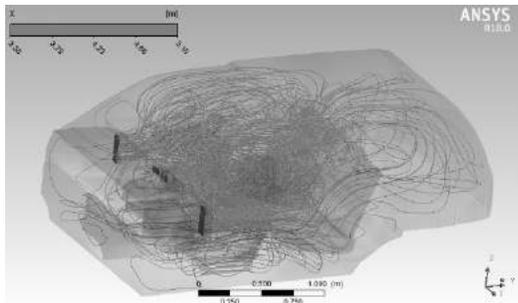


Figura 7a) Flujo del caudal de aire en el eje X

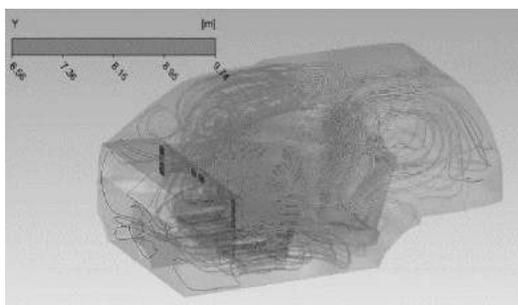


Figura 7b) Flujo del caudal del aire en el eje Y

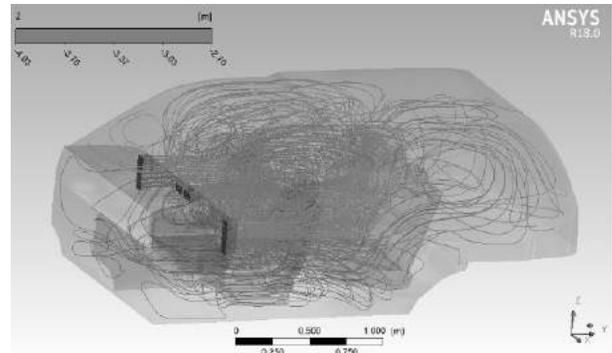


Figura 7c) Flujo del caudal de aire en el eje Z

Figura 7. Resultados del flujo de aire con respecto a la salida de los difusores

Con los resultados obtenidos se analiza el comportamiento del flujo de caudal de aire en el habitáculo e indica gráficamente el movimiento del aire renovado en todo el habitáculo con los valores de los flujos de pruebas realizado en los vehículos.

Temperatura

La figura 8, indica la relación entre la temperatura con el flujo de aire, no hay cambio de temperatura, esto sucede por lo que la regulación de temperatura estuvo en 25°C, la variación era imperceptible, se puede ver mejor las turbulencias generados por el flujo de aire en la cabina con respecto a la temperatura.

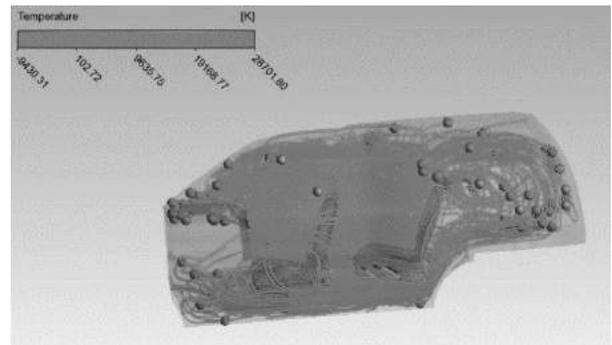
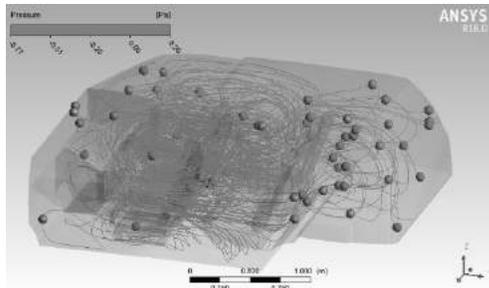


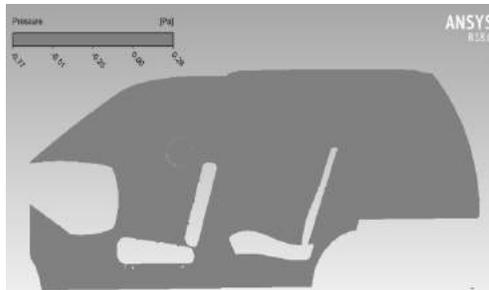
Figura 8. Análisis de temperatura en el habitáculo

Presión

En la figura 9, la parte central del habitáculo se puede ver un cambio de color , esto significa que en ese punto de análisis la presión está entre los 0.25 (Pa), de forma negativa, las corrientes de aire en el habitáculo generando estas presiones, sobre el asiento del pasajero se observa que ahí el aire ejerce presión hasta vencer al asiento e ir hacia la parte posterior en la cajuela.



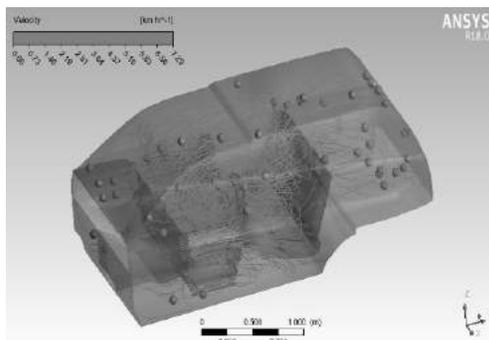
a) Distribución de las líneas de flujo de presión



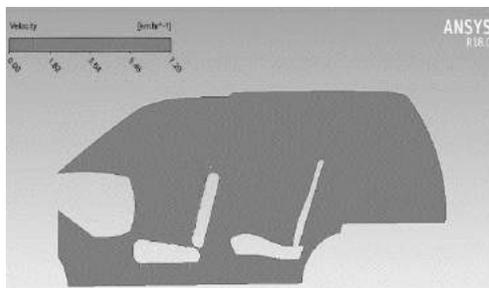
b) Comportamiento de la presión en el habitáculo
Figura 9. Análisis de presión

Velocidad

En la figura 10, el ingreso de flujo de aire al habitáculo genera una turbulencia que es menor de 1.46 m/s, esto en la ASHRAE es permitido que el aire viaje menos de 1.5 m/s, con ese flujo el cuerpo mantiene un estado de confort, en la parte de los asientos de los ocupantes hay un aumento del flujo.



a) Distribución de las líneas de flujo de velocidad de aire



b) comportamiento de la velocidad de aire en el habitáculo
Figura 10. Análisis de velocidad

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 11, el ingreso del flujo de aire al vehículo es proporcional a la curva de la presión, en el punto (4), se observa que ingresa alrededor de 0,3 m/s, y la depresión es mínimo cercano a los 0 (Pa), en los puntos posteriores hay una presión positiva, esto sucede por las corrientes de flujo llevan el aire hasta la parte posterior, la geometría del habitáculo permite que el flujo se acumule en el volumen de la cajuela, y en los puntos delanteros hay una presión negativa, la corriente de aire viaja rápidamente hacia la parte posterior en busca de un punto de extracción de aire, en los puntos delanteros hay un equilibrio entre las corrientes que ingresan y las que se regresan por motivo de las turbulencias.

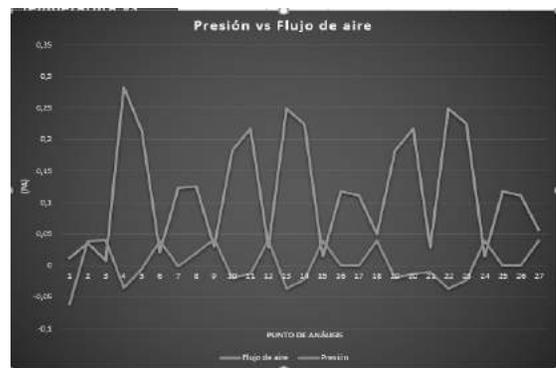


Figura 11. Presión vs flujo de aire

En la figura 12, indica la temperatura en función del flujo de aire, se puede observar la curva generada por los valores del flujo de aire están paralelamente a la temperatura, se deduce que son equivalentes en la forma de la curva ya que al aumentar el flujo de aire de entrada aumenta la temperatura, el vehículo regula la temperatura automáticamente, la temperatura inicia de los 294 K, esto es 20,85°C realizando la transformación, y mientras se va hacia la parte posterior el punto (2) sube, en la cajuela la temperatura disminuye medio grado, tienen un aumento en la parte media del vehículo, en el punto del copiloto hay un cambio abrupto que sucede por la velocidad en ese punto, después baja para oscilar entre los 0,2 m/s, y la temperatura estable entre los 20, 35 °C.

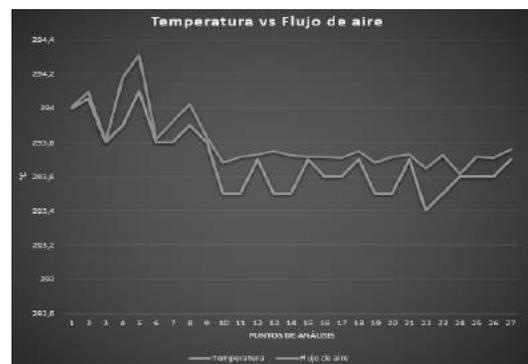


Figura 12. Grafica de temperatura vs flujo de aire

4. CONCLUSIONES

Las aplicaciones de software y la tecnología cada vez más revolucionan el mercado automotriz, en esta ocasión los programas para el diseño asistido por computadora favorecen en la investigación para mejorar e innovar las tecnologías de los vehículos híbridos en este caso sus componentes internos.

Se determinó que los flujos de caudal de aire en vehículos híbridos superan los 5 m/s, la ASHRAE, recomienda el uso del aire acondicionado a una velocidad menor a los 1.5 m/s, dando confort en temperaturas y ambientales elevadas por causas climatológicas.

Las baterías híbridas necesitan funcionar entre 24°C a 30°C para un mejor rendimiento, el sistema de aire acondicionado permite mantener esta temperatura por medio de la electrónica y el diseño del habitáculo que conducen el flujo de aire hacia el soplador de la batería para así poder estar a un adecuado régimen de funcionamiento.

Las corrientes de aire con turbulencias altas proporcionan un rápido intercambio de calor con la piel del conductor y así mismo de los ocupantes del vehículo, si hay un aumento exagerado de turbulencias en el habitáculo este proporcionara un estado de des confort e incluso puede afectar la salud de los ocupantes del vehículo es por eso que el sistema de climatización consta de sensores el cual regula esta turbulencia del flujo de aire.

El diseño por volúmenes finitos permite optimizar recursos al construir un habitáculo que necesite refrigeración, de acuerdo a parámetros como: la presión, flujo de aire y temperatura del fluido que se utilice a ser enfriado, por cualquier método de refrigeración conocido.

Se observó en algunos puntos la presión es negativa y supera los 3 Pa, estas presiones negativas producen infiltraciones en el habitáculo lo cual esto afecta en las cargas térmicas del habitáculo.

REFERENCIAS

- [1] Anderson, E. P., (2010). Air Condicionado
- [2] Mitchell., (2011). "Information Services". *Manual de Reparación de Sistema de Aire Acondicionado Automotrices*, pp. 12. México: Prentice Hall
- [3] Cepollone, (2015). "High efficiency air conditioning model based analysis for the automotive sector". 149 ed. *International Journal Refrigeration.*, pp. 105
- [4] Clavero, D., (2014). "Diarimotor", Citado el 20 de agosto del 2017, de <http://www.diarimotor.com/tecmovia/2014/05/20/10-menos-de-consumo-en-hibridos-eliminando-las-perdidas-por-calor-de-la-electronica/>.

- [5] Instituto Ecuatoriano de Normalización (2015), "NTE INEN 2902:2015 Primera Revisión: Vehículos de transporte público", Quito-Ecuador
- [6] Manjarres, F. (2016). *Dinámica de fluido computacional*. Quito: S/N.
- [7] American Society of Heating, R. a.-C. (2010). Norma ASHRAE 55, "Condiciones de Ambiente Térmico para Ocupación Humana"
- [8] Díaz Torres, Y., Monteagudo Yanes, J. P., & Bravo Hidalgo, D. (2015). Análisis energético de un sistema híbrido de producción de frío. *Ingeniería energética*, 36(1), 38-49.
- [9] Alonso, F. J., Martínez, J. L., Alejo, F. S., & Arribas, P. C. (2008). Definición de la gestión energética de un vehículo híbrido basada en la simulación del funcionamiento de los componentes del sistema propulsor en las condiciones de operación de diseño.
- [10] López Donado, D. C., Mejía Cataño, B. D. J., & Sierra Martínez, M. A. (2016). Diseño de un sistema de climatización híbrida para estaciones de transferencia en transporte urbano masivo de pasajeros.

Análisis de la autonomía eléctrica entre el vehículo híbrido estándar y un vehículo enchufable

Analysis of the electric range between the standard hybrid vehicle and a plug-in vehicle

Germán Erazo Laverde ¹, Luis Naranjo Tipán ², Alexandra Corral Díaz³, José Quiroz Erazo⁴, Andrés Moreno Constante⁵,

^{1,3,4} Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Energía y Mecánica, Latacunga – Ecuador

² Instituto Tecnológico Central Técnico, Quito – Ecuador

⁵ ASSA Automotores de la Sierra, Latacunga Ecuador

wgerazo@espe.edu.ec ¹, luisnt_92@hotmail.com, ², macorral@espe.edu.ec ³, jlquiroz@espe.edu.ec ⁴, amoreno@assa.com.ec ⁵

Resumen

La investigación presenta un análisis de eficiencia en lo referente a la determinación de la autonomía eléctrica del vehículo híbrido Toyota Prius 3G al realizar pruebas previo la implementación de un sistema enchufable. Se parte de un prototipo de sistema enchufable para generar un protocolo de pruebas que considera el desplazamiento del mismo tanto en condiciones de operación como vehículo híbrido y como vehículo híbrido enchufable, para a través del uso de equipo especializado obtener parámetros como: consumo de combustible en tiempo real, autonomía del vehículo cuando se desplaza en ciudad y en carretera en una distancia referencial de 108 Km. Presentando una elevación de autonomía de 20[Km] y 48 [Km] y adicional determinar el respectivo ahorro de combustible fósil.

Palabras Claves:

Autonomía, Sistema enchufable, Protocolo de pruebas, Vehículo híbrido.

Abstract

The research presents an analysis of efficiency regarding the determination of the electric autonomy of the Toyota Prius 3G hybrid vehicle when conducting tests prior to the implementation of a plug-in system. It is part of a prototype plug-in system to generate a test protocol that considers the displacement of the same both in operating conditions as a hybrid vehicle and as a plug-in hybrid vehicle, through the use of specialized equipment to obtain parameters such as: fuel consumption in Real time, autonomy of the vehicle when traveling in the city and on the highway in a reference distance of 108 km. Presenting an increase in autonomy of 20 [Km] and 48 [Km] and additional determination of the respective fossil fuel savings.

Keywords:

Electric Autonomy, Plug-in System, Test Protocol, Hybrid Vehicle.

I. INTRODUCCIÓN.

Uno de los principales retos a cumplir por parte de los fabricantes de vehículos es reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente y el problema del calentamiento global que sufre el planeta, esto se debe en gran parte a todos los gases tóxicos emitidos por los cientos de millones de vehículos que circulan en el mundo.

Para reducir las emisiones de los vehículos, se ha implementado novedosas tecnologías como los vehículos híbridos, las cuales logran establecer cifras muy importantes de reducción de emisiones colocando esta tecnología en el nivel PZEV.

El uso de energías alternativas en el sector automotriz cada vez va en aumento en especial en vehículos híbridos, eléctricos y enchufables, para sustituir el uso de combustibles fósiles y reemplazarlos por energía eléctrica, considerando también la aplicación del cambio de matriz energética en el país. A mediano plazo el Ecuador contará con superávit de producción eléctrica. Adicionalmente, debido al no uso de combustibles fósiles se promueve disminuir la contaminación ambiental [1]

La investigación de elevación de autonomía se basa en ampliar la capacidad de la batería de alta tensión utilizando una adicional, que trabaja de forma conjunta bajo un control independiente del vehículo, todo esto con el propósito de disminuir el consumo de combustible en recorridos tanto en ciudad como en carretera, y con la conexión a un sistema de energía de 110 voltios ó 220 voltios [2].

El vehículo híbrido enchufable de la investigación es enchufable a la red, la batería de alta tensión se recarga conectando el mismo a una toma de corriente domiciliaria, lo cual permite realizar viajes en modo totalmente eléctrico hasta que la carga de la batería necesite el apoyo del motor de combustión interna para su recarga. La reducción de consumo de gasolina está entre el 40% y 65% [3].

Una de las desventajas del vehículo eléctrico, es su limitada autonomía. Las baterías tienen una baja densidad de energía en comparación con los combustibles fósiles. Los vehículos eléctricos necesitan de recargas frecuentes, con tiempos de recarga relativamente elevados (en función de la fuente de alimentación, de tres a seis horas para la carga lenta). [4]

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

Para incursionar en esta investigación es necesario utilizar equipo especializado tanto de diagnóstico como de medición, así como también el vehículo Toyota Prius 3G, la interfaz OBDLink SX con el software OBDWIZ que despliega con rapidez datos de información del programa en tiempo real a través del uso del computador personal [5]. Se genera un sistema de monitoreo a través de pantallas para desarrollar la recolección de datos para sustentar la implementación desarrollada como se presenta en la figura 1.



Figura 1. Software OBDWIZ

La instalación requiere utilizar el conector de diagnóstico DLC de 16 pines OBD II del vehículo, para a través de una conexión en red de comunicación obtener los datos de las pruebas con el sistema enchufable y con sistema híbrido estándar de la experimentación a desarrollar [6]



Figura 2. Conector OBD II

La ruta en carretera seleccionada [8] está ubicada entre la ciudad de Latacunga - Quito con una distancia de 108 kilómetros los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

- 108 kilómetros de carretera a ser recorridos en un tiempo 1h32 desde la ciudad de Latacunga hasta Carapungo, Av. Simón Bolívar, Quito como se presenta en la figura 3.



Figura 3. Ruta Carretera – Gasolinera PetroEcuador sector el Mercado Mayorista de Latacunga hasta Mega Santa María Carapungo, Av. Simón Bolívar, Quito.

La ruta seleccionada para ciudad tiene una longitud de 100 Kilómetros los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera, con un tiempo 6 horas desde El Condado Shopping hasta el Colegio Vida Nueva, F, Quito



Figura 4. Ruta Ciudad - El Condado Shopping hasta el Colegio Vida Nueva, F, Quito

El diseño de la investigación inicia a partir de un problema que es el uso de energías fósiles, con ello se formuló la hipótesis, la cual está orientada a determinar la elevación de la autonomía del vehículo híbrido enchufable [9], todo esto considerando la experimentación, trabajos de campo, la matematización, todo esto través del uso de herramientas metodológicas y métodos presentados en la figura 5.

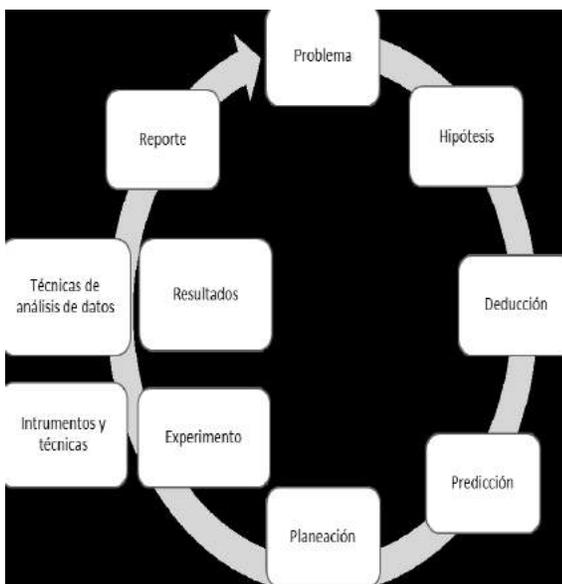


Figura 5. Diseño de la investigación

III. RESULTADOS

Análisis de los valores obtenidos en la ruta Carretera

Por medio interfaz OBDLink SX y el software OBDWIZ se obtuvo las respectivas mediciones con el sistema híbrido estándar y el sistema plug-in en la ruta de carretera con las mismas condiciones iniciales [10]



Figura 6. Valores al final de la prueba en carretera en condiciones híbrido estándar con el interfaz OBDWIZ

Tramo	Distancia [km]	Ruta
El Condado Shopping, Quito – Av. Maldonado, Quito	30.1	Ciudad
Av. Maldonado, Quito – Villaflora, Quito	11.8	Ciudad
Villaflora, Quito – Colegio Montufar, Quito	2.4	Ciudad
Colegio Montufar, Quito – Carlos Fortines, Quito	16.3	Ciudad
Carlos Fortines, Quito – Panamericana Norte, Quito	4.8	Ciudad
Panamericana Norte, Quito – Ave Patria, Quito	13.5	Ciudad
Ave Patria, Quito – Terminal Quitumbe, Quito	15	Ciudad
Terminal Quitumbe, Quito - Colegio Vida Nueva, F, Quito	6.1	Ciudad

En figura 6 se observa los valores de la prueba en carretera con el sistema híbrido estándar con un consumo de 1,46 galones en 67,10 millas [8]



Figura 7. Valores al final de la prueba en carretera con el sistema enchufable

En figura 7 se observa los valores de la prueba en carretera con el sistema enchufable con un consumo de 1,26 galones en 67,10 millas.

Tabla 1. Valores obtenidos del consumo de combustible, durante la prueba de carretera en condiciones de híbrido estándar e híbrido plug in

Hora Inicio	Hora final	Condición	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
07:45	09:17	Híbrido estándar	108	1,46
07:45	09:17	Plug in	108	1,26

Se visualiza en la tabla 2 los valores obtenidos del vehículo en condiciones híbrido estándar y con el sistema enchufable con un tiempo de 1h 32 minutos, con estos resultados experimentales se estable la relación entre el consumo de combustible, autonomía de distancia para obtener el porcentaje de autonomía eléctrica adicional.

$$Auto.d = dist.OBDWIZ * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right) \quad (1)$$

Donde Auto.d, es la autonomía de distancia del vehículo y dist.OBDWIZ es la distancia obtenida con el interfaz en millas de acuerdo a la tabla 2.

$$Auto.d = 67,10 \text{ millas} * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right)$$

$$Auto.d = 107,9639 \text{ km}$$

$$Auto.d = 108 \text{ km}$$

En la ecuación 1 se realiza la transformación de millas a km, y el resultado fue de 108 km como se estableció en el protocolo de prueba en carretera.

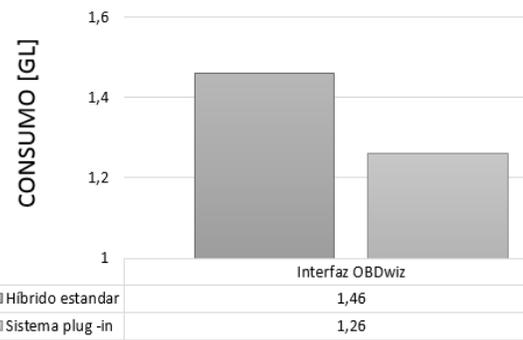


Figura 8. Valores del consumo de combustible en el estado híbrido estándar y sistema plug-in en carretera.

En la figura 8 se observa el consumo de combustible de 1,46 galones y 1,26 galones en 108 Km de recorrido en carretera con el sistema híbrido estándar y con el sistema plug-in con un tiempo de 1h 32 minutos, con estos resultados experimentales se estableció la autonomía eléctrica adicional del vehículo [8].

$$Auto.E = \left(\frac{Reduc.C * dist.OBDWIZ}{Consumo S.H.E} \right) \quad (2)$$

Donde Auto.E, es la autonomía eléctrica adicional del vehículo, dist. OBDWIZ es la distancia obtenida con el interfaz, Reduc.C es la reducción de consumo de combustible y Consumo S.H.E es el consumo del sistema híbrido estándar.

$$Auto.E = \left(\frac{0,27 \text{ gl} * 108 \text{ Km}}{1,46 \text{ gl}} \right)$$

$$Auto = 19,97 \text{ Km}$$

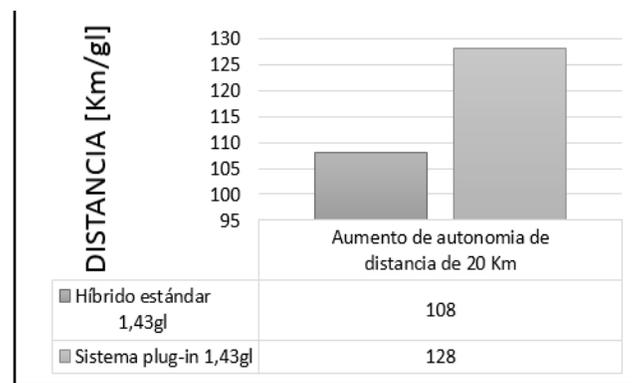


Figura 9. Aumento de autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G

En la prueba de carretera se obtuvo que el vehículo híbrido estándar tiene un consumo de 1,46 galones en 108 kilómetros mientras que con el sistema plug-in fue 128 kilómetros por 1,16 galones obteniendo 20 km más de autonomía eléctrica presentada en la figura 6

Análisis de los valores obtenidos en la ruta Ciudad

Por medio interfaz OBDLink SX y el software OBDWIZ se obtuvo las respectivas mediciones con el sistema híbrido estándar y el sistema plug-in en la ruta de ciudad con las mismas condiciones iniciales [12]



Figura 10. Valores al final de la prueba en ciudad en condiciones híbrido estándar con el interfaz OBDWIZ

En figura 10 se observa los valores de la prueba en ciudad con el sistema híbrido estándar con un consumo de 1,55 galones en 62,13 millas.



Figura 11. Valores al final de la prueba en ciudad con el sistema enchufable

En figura 11 se observa los valores de la prueba en ciudad con el sistema enchufable con un consumo de 0,8 galones en 100 km.

Tabla 2
Valores obtenidos del consumo de combustible, durante la prueba de ciudad en condiciones de híbrido estándar e híbrido plug in

Hora Inicio	Hora final	Condición	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
08:40	14:40	Híbrido estándar	100	1,55
08:40	14:40	Plug in	100	0,8

Se visualiza en la tabla 3 los valores obtenidos del vehículo en condiciones híbrido estándar y con el sistema enchufable con un tiempo de 6h, con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible, autonomía de distancia y así obtener el porcentaje de autonomía eléctrica adicional.

$$Auto.d = dist.OBDWIZ * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right) \quad (3)$$

Donde Auto.d, es la autonomía de distancia del vehículo y dist.OBDWIZ es la distancia obtenida con el interfaz en millas de acuerdo a la tabla 3.

$$Auto.d = 62,14 \text{ millas} * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right)$$

$$Auto.d = 99,98 \text{ km}$$

$$Auto.d = 100 \text{ km}$$

En la ecuación 3 se realizó la transformación de millas a km, y el resultado fue de 100 km como se estableció en el protocolo de prueba en ciudad.

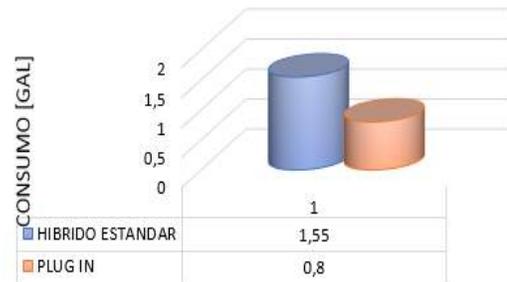


Figura 12. Valores del consumo de combustible en el estado híbrido estándar y sistema plug-in en ciudad.

En la figura 12 se observa el consumo de combustible de 1,55 galones y 0,8 galones en 100 Km de recorrido en ciudad con el sistema híbrido estándar y con el sistema plug-in con un tiempo de 6h, con estos resultados experimentales se estableció la autonomía eléctrica adicional del vehículo.

$$Auto.E = \left(\frac{Reduc.C * dist.OBDWIZ}{Consumo S.H.E} \right) \quad (4)$$

Donde Auto.E, es la autonomía eléctrica adicional del vehículo, dist.OBDWIZ es la distancia obtenida con el interfaz, Reduc.C es la reducción de consumo de combustible y Consumo S.H.E es el consumo del sistema híbrido estándar.

$$Auto.E = \left(\frac{0,75 \text{ gl} * 100 \text{ Km}}{1,55 \text{ gl}} \right)$$

$$Auto = 48,38 \text{ Km}$$

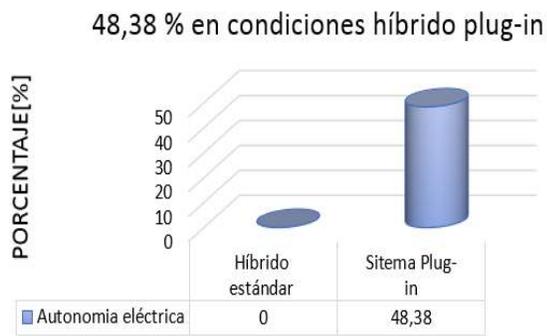


Figura 13. Aumento de autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G

En la prueba de ciudad se obtuvo que el vehículo híbrido estándar tiene un consumo de 1,55 galones en 100 kilómetros mientras que con el sistema plug-in fue 148 kilómetros por 0,8 galones obteniendo 48 km más de autonomía eléctrica como se puede visualizar en la figura 13

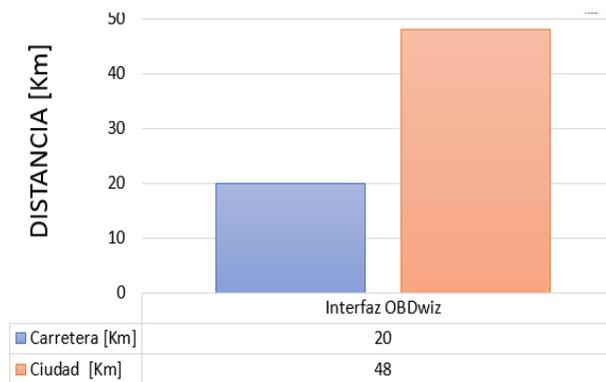


Figura 14. Valores de aumento de autonomía eléctrica del vehículo

En la figura 14 se observa el aumento de autonomía eléctrica tanto en la ruta carretera y ciudad en 20 [Km] y 48[Km] respectivamente.

IV. CONCLUSIONES

Se plantea las siguientes conclusiones para que puedan ser tomadas en consideración o como fuente de consulta:

- La investigación es de tipo experimental utilizando un vehículo híbrido que dispone de un sistema enchufable.
- El consumo de combustible se desarrolló usando el interface OBDLINK SX EOBD y mediante el software OBDwiz que son equipos especializados.
- La prueba de carretera se efectuó desde la Ciudad de Latacunga hacia Quito con una distancia de 108 Km a la misma hora y con las mismas condiciones iniciales.
- Para la recolección de datos, se estableció un protocolo de ruta tanto en ciudad como en carretera con un recorrido de 100 [Km] y 108 [Km] respectivamente, en condiciones de vehículo híbrido estándar y con el sistema plug in.
- La prueba en ciudad se obtuvo los siguientes valores: de 1,55[gal] en condición de híbrido estándar y por último

0,8[gal] con el sistema plug in en una distancia de 100[Km].

- Dado los resultados del consumo obtenidos se realizó una relación para determinar la autonomía eléctrica obteniendo un 48% o en otras palabras 48km solo eléctrico en 100km de ruta en ciudad.
- El consumo de combustible en carretera se redujo de 1,46 galones a 1,26 galones al utilizar el sistema plug-in en 108 km, dando así al vehículo una autonomía de 20 km adicionales.
- El consumo de combustible por galón en carretera es de 75,52 [Km] con el sistema híbrido estándar y de 93,10 [Km] al implementar el sistema plug-in dando una autonomía eléctrica de 18 [Km] por cada galón.
- El consumo de combustible por galón en ciudad es de 64,51 [Km] con el sistema híbrido estándar y de 125 [Km] al implementar el sistema plug-in dando una autonomía de 60,49 [Km] por cada galón.

V. REFERENCIAS

- [1] Augeri, F. (2012). Estudio del funcionamiento de un vehículo híbrido convertido a enchufable estudio de rendimiento y acoplamiento de baterías adicionales.
- [2] De la Mata Gómez, P. (2010). Qué hacemos para poner a cargar el coche en casa. Leganés.
- [3] Moral, A. (2013). Green Car Eco Desing. España.
- [4] Puentes García, C. A. (2014). Programación óptima para la recarga de vehículos eléctricos enchufables y su impacto en las redes eléctricas inteligentes (Bachelor's thesis, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira).
- [5] Bertolín Corisco. (2014). Gestión de demanda en una smart -grid con vehículos eléctricos. 149.
- [6] Calle, F. (2012). Evaluación técnica del desempeño y prestaciones del vehículo Toyota Prius III generación en la ciudad de Cuenca.
- [7] Emadi, Lee Young Joo & Rajashekara. (2008). Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles.
- [8] Moreno, Naranjo & Erazo. (s.f.). Investigación de la Eficiencia Energética del Vehículo Toyota Prius al implementar el sistema enchufable plug in. 2017.
- [9] Van Dijck, K. (2009). Toyota Prius Plug-in Hybrid, vehículo eléctrico híbrido enchufable. Física y sociedad, (20), 17.
- [10] Galindo Martín, N. (2010). Impacto de la incorporación del vehículo eléctrico en la integración de energías renovables en el sistema eléctrico (Master's thesis).
- [11] Hernández, J. M. M., & González, N. I. (2015). Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico. Observatorio Medioambiental, 18, 57.
- [12] Iniesta López, Á. (2015). Vehículo eléctrico: ¿Una opción de futuro en los sistemas eléctricos? (Bachelor's thesis).
- [13] Martínez Vicente, D. (2011). El impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución.
- [14] Frutos, F. H., Collado, J. V., Díaz, C. A., & Campos, F. A. (2011). Análisis de la influencia del vehículo eléctrico en la demanda eléctrica. Universidad Pontificia Comillas.

Control del motor generador trifásico del vehículo híbrido con el inversor integrado

Control of the motor three-phase generator of the hybrid vehicle with the integrated inverter

Leonidas Quiroz Erazo ¹, Henry Paucar Jarrín ², Washington Germán Erazo Laverde ³,
José Quiroz Erazo ⁴, Victor Alfonso Yupa⁵

^{1,2,3,4,5} Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía

e – mail : ¹ laquiroz@espe.edu.ec, ² hdpaucar@espe.edu.ec, ³ wgerazo@espe.edu.ec, ⁴ jlquiroz@espe.edu.ec, ⁵ vayupa@espe.edu.ec

Resumen

En la investigación se presenta los principios del sistema de control del grupo motor generador trifásico de A/C de un vehículo híbrido por medio de la utilización de un inversor integrado en el mismo, el cual es aplicado y accionado mediante en el sistema de aire acondicionado en el interior del habitáculo, este se activa por un motor eléctrico que es controlado mediante las revoluciones de giro, a su vez calcula dichas revoluciones para mantener un confort en el interior del habitáculo por medio del módulo de control controla la temperatura del habitáculo, variando la misma, al cambio climático y optimizando el consumo de energía por su alta capacidad de bombeo a bajas revoluciones. Se desarrollan los diagramas eléctricos de implementación del circuito, se realizan las trazas de activación y control del sistema para verificar la eficiencia energética del mismo.

Palabras Clave: Motor trifásico, inversor, módulo de control, confort.

Abstract

The research presents the principles of the control system of the three-phase A / C generator group of a hybrid vehicle through the use of an inverter integrated in it, which is applied and driven by the air conditioning system inside the passenger compartment, this is activated by an electric motor that is controlled by the revolutions of turn, in turn calculates said revolutions to maintain a comfort inside the interior by means of the control module controls the temperature of the interior, varying the same, to climate change and optimizing energy consumption due to its high capacity of pumping at low revolutions. The electrical diagrams for the implementation of the circuit are developed; the traces of activation and control of the system are made to verify the energy efficiency of the same.

Keywords: Three-phase motor, inverter, control module, comfort

1. INTRODUCCIÓN

El compresor del sistema de aire acondicionado del vehículo híbrido es una máquina giratoria volumétrica. La presión es fijada por el circuito y el caudal másico depende de la velocidad de revolución, la eficiencia volumétrica, es ligeramente dependiente de la presión y velocidad suministradas que depende de las condiciones termodinámicas en el acumulador. [1].

El sistema de aire acondicionado ha evolucionado tecnológicamente, se han incorporado elementos que controlan la temperatura del habitáculo para que tengan confort térmico los pasajeros, estos son: sensores, actuadores y módulos de control electrónico propios del sistema.

El uso de energía del sistema de climatización ha puesto la atención de las comunidades de investigación, la industria y las agencias reguladoras, debido principalmente al impacto relativamente grande en el rango de vehículos vendidos en los mercados de América Latina, las soluciones al problema de la energía del sistema de climatización se pueden dividir en dos áreas: disminuir el calentamiento requerido o refrigeración y el aumento de la eficiencia de los sistemas calentando y enfriando [2].

El compresor al ser impulsado por el motor eléctrico cuyas RPM son calculadas por el módulo de control, fácilmente controla la temperatura del habitáculo variando las mismas, optimizando el consumo de energía. Utilizan el refrigerante R134a, aunque el aceite es especial para este tipo de compresores ya que el motor eléctrico está siempre en contacto directo con el refrigerante y aceite.

En el caso de Toyota el aceite es el ND-11 compatible con el refrigerante 134a y no afecta la aislación del bobinado del motor [2].

Ahora su diseño ha sido actualizado para incrementar su eficiencia y reducir su consumo energético y tamaño hasta en un 60% respecto a los sistemas convencionales [3].

El inversor conductor de este componente es fundamental en el vehículo híbrido, incorpora gran cantidad de elementos eléctricos y electrónicos pero el funcionamiento es controlado por la unidad de control del sistema híbrido ECU (HV).

Este sistema se encarga de controlar al inversor y generalmente cualquier tipo de diagnóstico del mismo incluido los códigos de diagnóstico DTC [4].

El circuito de control del compresor y el controlador IGBT funcionan como un controlador de accionamiento que suministra las señales de impulsos al inversor para accionar el inversor.

El inversor incluye, además del controlador IGBT, sensores de temperatura de unión (detectores de temperatura) para detectar las temperaturas de unión de los elementos de conmutación en el inversor.

El inversor incluye además circuitos que varían de pendiente, que controlan de forma variable un grado abrupto de formas de onda de pendiente ascendente / descendente de las señales de impulso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplica el método científico para el desarrollo de la investigación considerando que se obtiene una base de datos importantes para el análisis de resultados se desarrolló varios experimentos y trabajos de laboratorio en base al protocolo de pruebas establecidos.

La Comunicación del compresor en el vehículo híbrido o eléctrico, el motor para accionar el vehículo o el compresor de A/C es realizado por una batería de alto voltaje y un dispositivo de comunicación como un instrumento de audio, LIN (Local InterConnect Network) o CAN (Controller Area Network) por una batería de bajo voltaje.

En esta estructura, las señales son enviadas y recibidas a través de un foto-couple "Dispositivo opto electrónico diseñado para la transferencia de señales eléctricas mediante una radiación óptica, a fin de asegurar un acoplamiento mientras que la salida esté aislada de la entrada", entre una CPU para controlar un dispositivo inversor para el motor y otra CPU para controlar el dispositivo de comunicación. [5].

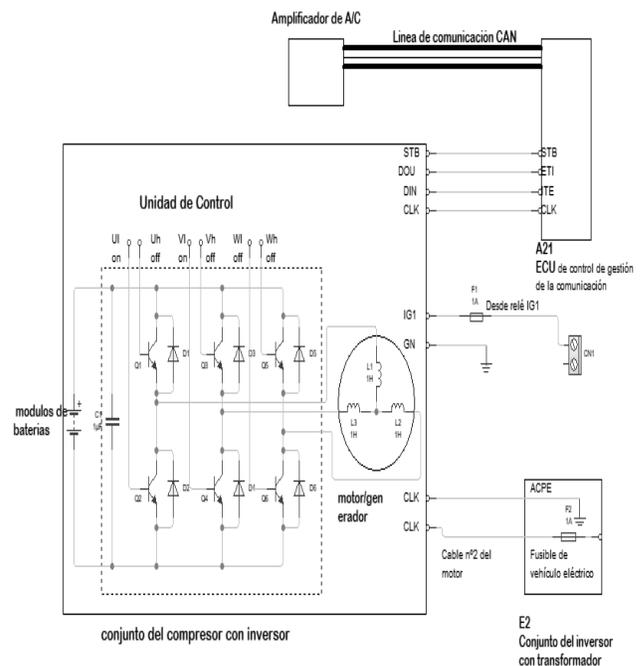


Figura 1. Diagrama de control del compresor A/C.

La potencia eléctrica del compresor varía entre los 2,3kW y los 6,5kW, parece mucho, pero hay que pensar que el coche funciona casi siempre con 100 por ciento de aire exterior (sin recirculación) por lo tanto tiene que enfriar el aire desde la temperatura de la calle revisar, hasta una temperatura ligeramente inferior a la de consigna para vencer las cargas térmicas (insolación), esta operación requiere bastante potencia. [6].

El consumo de energía del compresor en un vehículo híbrido es menor a la de un vehículo con combustibles fósiles, en estudios realizados indican que en funcionamiento normal consume entre 3.5 a 4.5 hp de potencia, esto afecta al consumo de combustible del vehículo, si en un día caluroso se usa hasta más de una hora de aire acondicionado esto resultaría un consumo bastante considerable de combustible, en la figura 2 se observa el consumo de potencia de un vehículo híbrido.

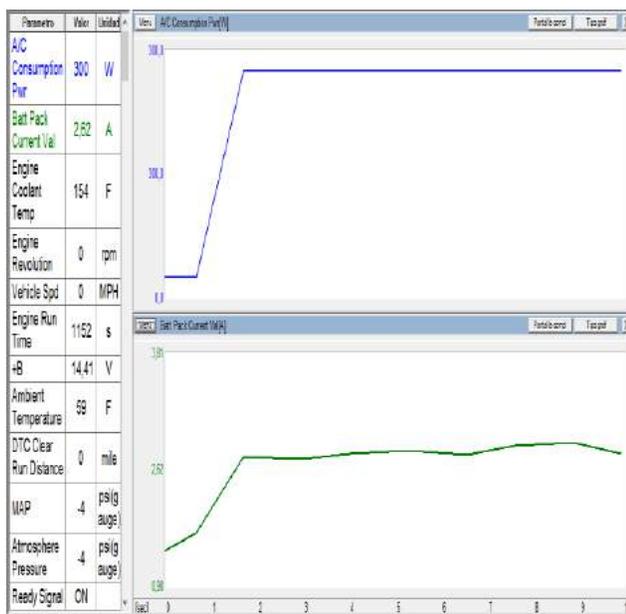
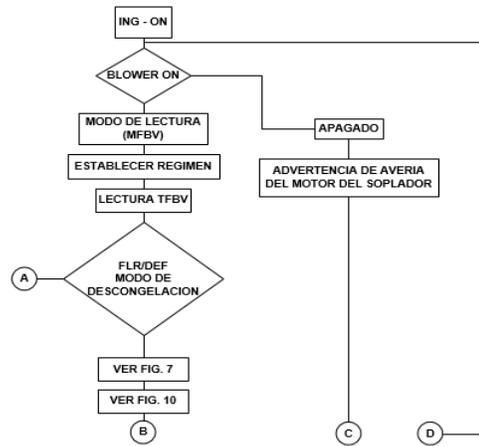


Figura 2. Curva característica del consumo de potencia del compresor.

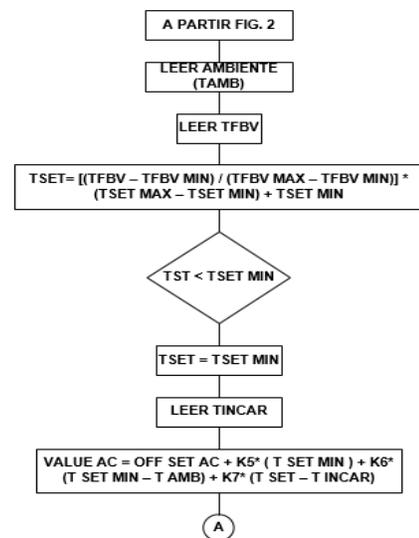
Algoritmo de control

Para el control del compresor trifásico se obtiene la información desde los módulos del sistema de climatización, dentro del cual se realizan los cálculos para determinar los tiempos de activación [7].

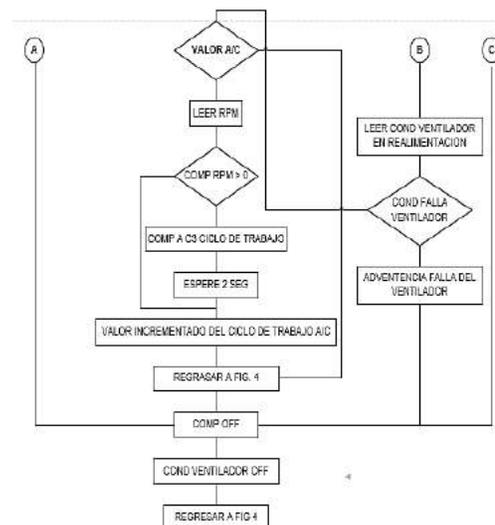
El diagrama de flujo del algoritmo que controla este tipo de motor trifásico se observa en la figura 3:



a) Controlador del soplador



b) Comprobación sensor de temperatura



c) Trabajo del compresor

Figura 3. Diagrama de flujo del trabajo del compresor A/C

La Tabla 1, muestra las características generales del compresor de A/C.

Tabla 1 Características del compresor de A/C

DATOS TÉCNICOS COMPRESOR ES14	
Peso Neto	4.623kg
Driver	A través de trifásico de alto voltaje hasta 288v
Inversor	Integrado
Cantidad de aceite	Aproximadamente 140 ml
Uso	Refrigerante R134
Capacidad	9 litros
Tecnología	Compresor de desplazamiento eléctrico
Lubricante	ND- OIL 11

Se realizó el desmontaje, desarmado y mantenimiento del compresor de aire acondicionado que consta de una sección de motor, sección de compresor, una carcasa, un inversor. [8].

En la figura 4 se puede observar la sección y el eje del motor trifásico.

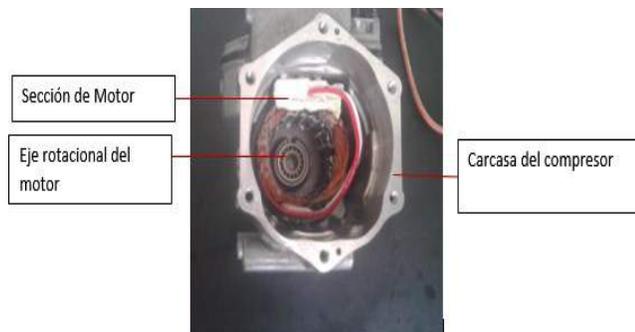


Figura 4. Carcasa con sección del motor.

El alojamiento central está provisto de un orificio de succión para aspirar el refrigerante. El refrigerante a baja temperatura y baja presión extraído de la lumbrera de aspiración fluye a través de la sección de motor en el alojamiento del motor con un giro de U. Luego el refrigerante es comprimido en una cámara de operación es descargado desde un orificio de descarga a través de una cámara de descarga dispuesta en el alojamiento trasero.

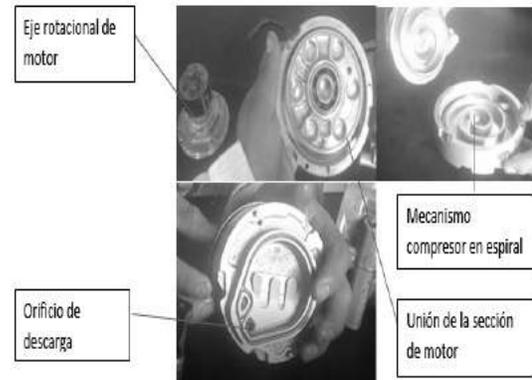


Figura 5. Sección de compresión.

La entrada del dispositivo de computación está conectada a la batería (HV) y a la unidad de control, y su salida está conectada a la sección del motor.

El inversor está fijado a la carcasa del compresor en la superficie exterior, en una zona donde el refrigerante fluye en forma de U expuesta anteriormente.

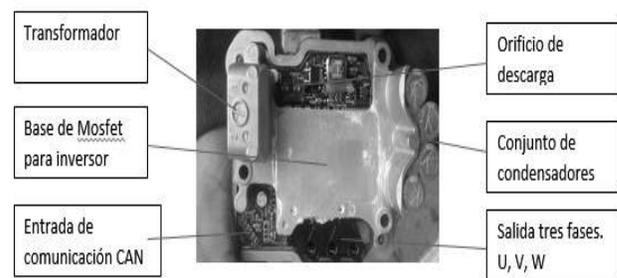


Figura 6. Inversor.

El circuito integrado que controla el motor trifásico se observa en la figura 7.

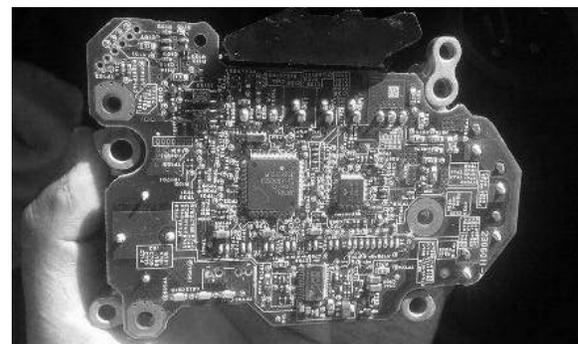


Figura 7. Circuito interno del inversor

El circuito de control del compresor y el controlador IGBT funcionan como un controlador de accionamiento que suministra las señales de impulsos al inversor para accionar el inversor.

Como se muestra en la, figura 8, el inversor incluye, además del controlador IGBT, sensores de temperatura de unión (detectores de temperatura) para detectar las temperaturas de unión de los elementos de conmutación en el inversor. [9].

El inversor incluye además circuitos que varían de pendiente, que controlan de forma variable un grado abrupto de formas de onda de pendiente ascendente / descendente de las señales de impulso.

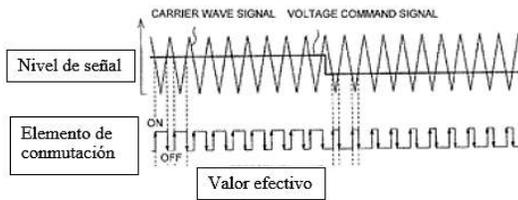


Figura 8. Señal del inversor.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 9, se encuentra el diagrama de bloques de la velocidad del motor trifásico esta velocidad está en su alto régimen de funcionamiento, este envía el aire al habitáculo, en la primera velocidad el aire tiende alcanzar los 3 m/s, asciende el flujo según aumenta la velocidad del soplador a razón de 1 m/s, en la última velocidad alcanza los 9 m/s, es una velocidad bastante alta para considerar confort, la ISO 7730 considera máximo 1.5 m/s para tener un confort térmico en el interior del habitáculo.

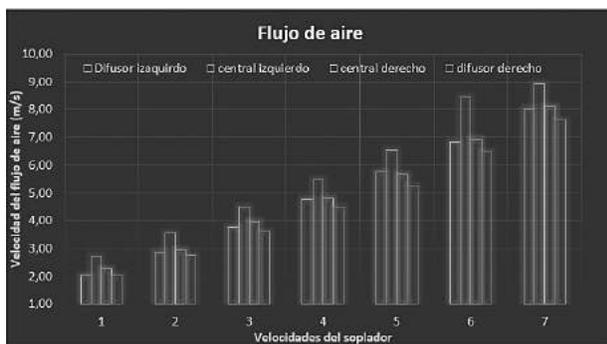


Figura 9. Flujo de aire con relación a la velocidad del soplador

En la Tabla 2 se va a observar los valores de la renovación de carga y el estado del consumo de potencia con respecto a la autonomía del compresor al ser utilizado.

Tabla 2. Valores del estado del motor con respecto a su funcionamiento.

Elemento	Unid.	V. de prueba						
		1	5	9	13	18	24	31
Velocidad del motor del soplador								
Estado de cambio (All Bat)	%	42.7	43.9	47.0	47.8	49.0	50.1	53.0
Recursos de energía VB	V	208.0	216.0	221.0	235.0	224.0	219.0	222.0
Recursos de energía IB	A	8.80	-4.89	28.35	-	19.06	29.86	35.68
VL-Voltaje antes del Impulso	V	207	216	219	237	222	203	219
VH - Voltaje después de impulsor	V	207	217	218	500	221	464	219
A/C Potencia de consumo	W	400	350	500	550	600	900	1050
Inversor W/P	RPM	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Revolución								
Presión de atmosfera	PSI	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
Par de generación	Nm	-10.9	-25.3	-28.0	-24.0	-29.5	-28.8	-17
Vol. Auxiliar batt	V	14.22	14.20	14.24	14.2	14.22	14.2	14.22
Valor de control de carga	KW	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0
Valor de control de descarga	KW	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0

En la figura 10, se observa el consumo de potencia, en función del voltaje, cabe recordar que el voltaje es controlado por el inversor internamente de en la placa electrónica en el conjunto del compresor, la curva indica que para bajas potencias el compresor ocupa poco más tensión que en las demás velocidades, en otras velocidades superiores se observa que el consumo es desproporcional, esto sucede porque estos compresores la potencia es controlada por la información que envíen los sensores de temperatura, presión etc. De acuerdo al requerimiento varía la potencia, como se conoce que la potencia es directamente proporcional a la tensión del inversor.

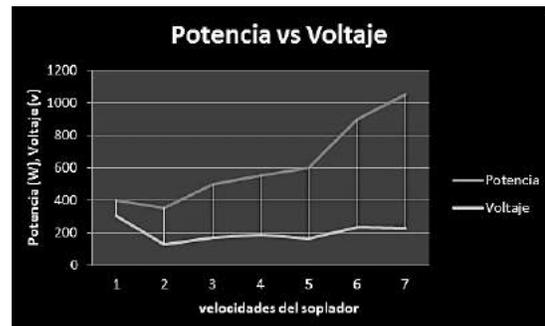


Figura 10. Consumo de voltaje y potencia

En la figura 11, se observa la carga de la batería, el vehículo está sin movimiento, el vehículo funciona con el A/C encendido y a diferentes niveles de flujo de aire el vehículo mientras más se descargue la batería, el motor generador incrementa la carga de corriente.

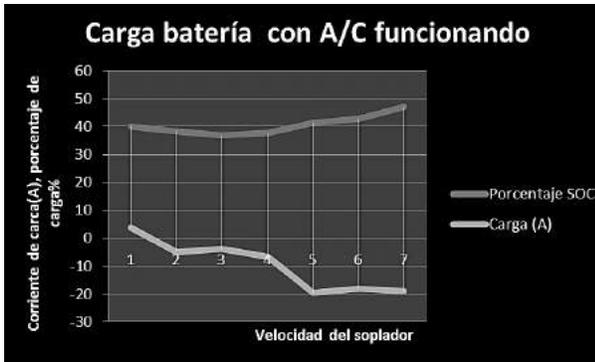


Figura 11. Carga de la batería, vehículo en reposo

En la figura 12, el porcentaje de carga esta hasta el 53 %, en esta fase de carga se ve el cambio de la corriente lo que significa que se descarga la batería en un punto y en otro punto se carga por eso ve corrientes positivas y negativas (descarga y carga), respectivamente, en algunos puntos la carga pasa los 20 amperios, en otros casos la descarga aumenta hasta los 30 amperios.

Esto se produce con una diferencia de voltaje que llega superior a los 500 voltios de tensión, está alta tensión lo logra gracias a un transformador que gracias a los condensadores permite elevar el voltaje para un aumento de potencia.

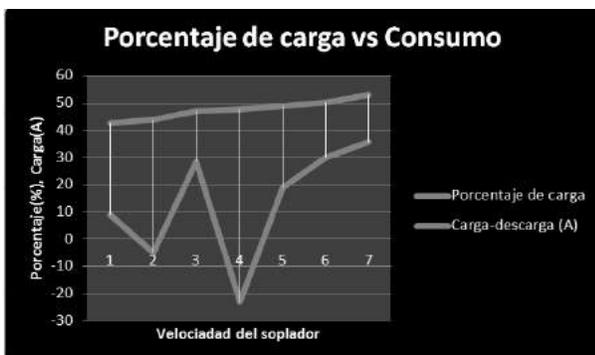


Figura 12. Consumo de potencia en la batería.

4. CONCLUSIONES

Se pone en consideración las siguientes conclusiones con el propósito de que se constituyan en un referente y fuente de consulta por parte de profesionales relacionados al área.

Las baterías híbridas deben funcionar entre 24°C a 30°C para un mejor rendimiento, el sistema de aire acondicionado permite mantener esta temperatura por medio de la electrónica y el diseño del habitáculo que conducen el flujo de aire hacia el soplador de la batería para así poder estar a un adecuado régimen de funcionamiento.

Es posible que a través de investigaciones e innovaciones sencillas como de la tratada, ir a la par con el desarrollo tecnológico de la industria automotriz generando equipos alternativos y de diagnóstico genérico que se constituyan en fuente de trabajo para personas relacionadas con el sector automotriz.

Se analizó la autonomía del motor trifásico con respecto a las pruebas en relación a la durabilidad, capacidad de la batería de alta tensión y verificar la eficiencia del sistema de climatización.

El compresor eléctrico consume un total de 1050 KW de potencia en la máxima capacidad, a diferencia de los compresores habituales con accionamiento mecánico que su consumo está entre los 3 a 4KW, notándose una diferencia entre el 50% al 60% en relación al consumo de potencia del compresor convencional.

El inversor del compresor aumenta la tensión enviada por la batería HV según el requerimiento del compresor superando los 201,6 voltios que la batería proporciona, llegando hasta los 300 V

REFERENCIAS

- [1] Roberto, C., Gianluca, V., Giuseppe, B., Stefano, M., & Giulio, C. (2015). "Energy saving in sliding vane rotary compressors using pressure swirl oil atomizers". *Journal of Process Mechanical Engineering*, pp. 70-95.
- [2] Augeri, F. (2010). www.cise.com citado el 28 de octubre de 2017. de www.cise.com: <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/235-el-m%C3%B3dulo-inversor-del-toyota-prius.html>
- [3] Clavero, D. (2014). *Diariomotor*. citado el 20 de mayo de 2017, de <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2014/05/20/10-menos-de-consumo-en-hibridos-eliminando-las-perdidas-por-calor-de-la-electronica/>
- [4] TOYOTA. (2016). "Sistema de Aire Acondicionado". citado el 10 de noviembre de 2017 de www.techinfo.toyota.com: <https://techinfo.toyota.com/t3Portal/resources/jsp/siviewer/index.jsp?dir=rm/RM1290U&href=xhtml/RM000002N2A00HX.html&locale=es&model=Prius>
- [5] Najima, K., Kagawa, F., & Fukasaku, H. (2010). *Japón Patente n° US 20100315024 A1*.

- [6] Carlos. (2015), "Nergiza." citado el 12 de noviembre del 2017, de <https://nergiza.com/consume-gasolina-el-aire-acondicionado-del-coche-cuanta/>
- [7] Instituto Ecuatoriano de Normalización (2015), "NTE INEN 2902:2015 Primera Revisión: Vehículos de transporte público", Quito-Ecuador
- [8] American Society of Heating, R. a.-C. (2010). Norma ASHRAE 55, "Condiciones de Ambiente Térmico para Ocupación Humana"
- [9] Díaz Torres, Y., Monteagudo Yanes, J. P., & Bravo Hidalgo, D. (2015). Análisis energético de un sistema híbrido de producción de frío. *Ingeniería energética*, 36(1), 38-49.
- [10] Alonso, F. J., Martínez, J. L., Alejo, F. S., & Arribas, P. C. (2008). Definición de la gestión energética de un vehículo híbrido basada en la simulación del funcionamiento de los componentes del sistema propulsor en las condiciones de operación de diseño.
- [11] López Donado, D. C., Mejía Cataño, B. D. J., & Sierra Martínez, M. A. (2016). Diseño de un sistema de climatización híbrida para estaciones de transferencia en transporte urbano masivo de pasajeros.

Gestión de riesgos físicos, mecánicos y ergonómicos en los talleres automotrices del Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Riobamba

Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador.

jcayan@esPOCH.edu.ec, gloriamino@esPOCH.edu.ec, jhonny.orocho@esPOCH.edu.ec, e.garcia@esPOCH.edu.ec, carlos.serrano@esPOCH.edu.ec

Resumen

El estudio realizado en el taller automotriz del GAD de Riobamba, determinó que los puestos de trabajo de bodega y cambio de neumáticos, para riesgos mecánicos, físicos y ergonómicos, son de riesgo elevado para los trabajadores. Usando cuestionarios de chequeo para el nivel de deficiencia (ND), y la evaluación de los riesgos mecánicos mediante la aplicación de la metodología NTP 330, se identificó un nivel de riesgo (NR) de 2400 para los riesgos de incendio y explosiones en el área de bodega. Utilizando software libre como Light y SPL Meter para las mediciones de los riesgos físicos, se obtuvo un valor de 81 luxes para el riesgo de iluminación en los puestos de bodega y un valor de 97 decibeles para el riesgo de ruido en el puesto de cambio de neumáticos, considerándose los puestos de mayor incidencia. Se utilizó el software Ergo/IBV para riesgos ergonómicos, aplicando las metodologías REBA y NIOSH, obteniendo un resultado NR muy alto con puntaje de 12 para el riesgo de posturas forzadas en el puesto de bodega, un NR inaceptable con índice de tarea de 3,2 para riesgo de sobre esfuerzo en el puesto de cambio de neumáticos. Estos resultados permiten gestionar los riesgos, aplicando medidas preventivas con el fin de mitigarlos o reducirlos, considerando normativa legal vigente en Seguridad y Salud Ocupacional (SSO).

Palabras Clave

<RIESGO FÍSICO>, <RIESGO MECÁNICO>, <RIESGO ERGONÓMICO>, <TALLER AUTOMOTRIZ>, <NOTA TÉCNICA EN PREVENCIÓN (NTP 330)>, <GESTIÓN DE RIESGOS>

Abstract

The study carried out in the automotive workshop of the GAD of Riobamba, determined that the jobs of warehouse and change of tires, for mechanical, physical and ergonomic risks, are of high risk for the workers. Using check questionnaires for the level of deficiency (ND), and the evaluation of mechanical risks through the application of the NTP 330 methodology, a risk level (NR) of 2400 was identified for the risks of fire and explosions in the area of cellar. Using free software such as Light and SPL Meter for the physical risk measurements, a value of 81 lux was obtained for the lighting risk in the warehouse positions and a value of 97 decibels for the noise risk in the exchange station. tires, considering the posts of higher incidence. The Ergo / IBV software was used for ergonomic risks, applying the REBA and NIOSH methodologies, obtaining a very high NR score with a score of 12 for the risk of forced postures in the hold, an unacceptable NR with a task index of 3, 2 for risk of overexertion at the tire changing station. These results allow managing risks, applying preventive measures in order to mitigate or reduce them, considering current legal regulations in Occupational Health and Safety (SSO).

Index Terms

<PHYSICAL RISK>, <MECHANICAL RISK>, <ERGONOMIC RISK>, <AUTOMOTIVE WORKSHOP>, <TECHNICAL NOTE ON PREVENTION (NTP 330)>, <RISK MANAGEMENT>

1. INTRODUCCIÓN

Los talleres del Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Riobamba, se encuentra ubicado en la Avenida la Prensa y 9 de Octubre. El taller cuenta con 190 trabajadores (40 fijos (34 hombres y 6 mujeres), 150 flotantes por día en diferentes áreas. (GADM-R, Taller Municipal, 2016).

La seguridad es un factor importante, por lo que compromete registrarse a las normativas y reglamentos vigentes destinados a precautelar y preservar la integridad física de cada uno de los trabajadores y de las instalaciones de los talleres, en la cual se efectúan actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos, vehículos y maquinaria.

Al no existir gestión de riesgos físicos, mecánicos y ergonómicos, se genera un ambiente laboral inseguro, con una alta frecuencia de accidentabilidad, debido al desconocimiento a los riesgos que están expuestos los trabajadores, como consecuencia de no contar con personal capacitado y competente, las acciones se encaminan a prevenir accidentes e incidentes, para garantizar condiciones personales y materiales de trabajo para mantener un nivel óptimo de salud en los trabajadores.

El GAD consciente de la seguridad y salud laboral, comprende que un programa de seguridad eficiente se consigue con el apoyo del talento humano; la mitigación de los riesgos laborales a través de la identificación de los mismos tanto el tipo como el nivel de existencia con el firme propósito de proteger la salud de los trabajadores controlando el entorno del trabajo, minimizando los accidentes y las enfermedades profesionales.

Es primordial para una empresa o institución y mucho más rentable el invertir en la prevención de accidentes y de enfermedades profesionales que incurrir en los costos de indemnizaciones, daños a materiales de la institución siendo estos gastos muy altos y representativos para cualquier organización.

2. MÉTODOS Y MATERIALES

2.1 Riesgos mecánicos mediante la Nota Técnica en Prevención NTP 330

El método aplicativo para evaluar los factores de riesgos mecánicos se establece mediante la nota técnica de prevención NTP 330 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), esta metodología realiza un análisis semi-cuantitativo para evaluar los riesgos mecánicos y para cumplir con lo establecido depende de

los niveles de probabilidad y consecuencia, se aplica las valoraciones de la metodología para determinar el nivel de riesgo conjuntamente con el nivel de intervención.

- Se considera el riesgo a analizar.
- Se elige el cuestionario de chequeo sobre los factores de riesgos que posibiliten su materialización.
- Se asigna el nivel de importancia a cada uno de los factores de riesgo.
- Se estima el nivel de deficiencia del cuestionario aplicado.
- Se estima el nivel de probabilidad a partir del nivel de deficiencia (ND) y del nivel de exposición (NE), según las siguientes tablas:

Tabla 1. Determinación del nivel de deficiencia

Nivel de deficiencia	ND	Significado
Muy deficiente (MD)	10	Se han determinado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallos. El conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo resulta ineficaz
Deficiente (D)	6	Se ha determinado algún factor de riesgo significativo que precisa ser corregido. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes se ve reducida de forma apreciable
Mejorable (M)	2	Se han detectado factores de riesgo de menor importancia. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo no se ve reducción de forma apreciable
Aceptable (B)	-	No se ha detectado anomalía destacable algún. El riesgo está controlado. No se valora

Tabla 2. Determinación del nivel de exposición

Nivel de exposición	NE	Significado
Continuada (EC)	4	Continuamente. Varias veces en su jornada laboral con tiempo prolongado.
Frecuente (EF)	3	Varias veces en su jornada laboral, aunque sea con tiempos cortos
Ocasional (EO)	2	Alguna vez en su jornada laboral y con período corto de tiempo
Esporádica (EE)	1	Irregularmente

- Se determinó el nivel de probabilidad a partir de datos disponibles.

$$NP = ND \times NE$$

Tabla 3. Determinación del nivel de probabilidad

		Nivel de Exposición (NE)			
		4	3	2	1
Nivel Deficiencia (ND)	10	MA-40	MA-30	A-20	A-10
	6	MA-24	A-18	A-12	M-6
	2	M-8	M-6	B-4	B-2

Tabla 4. Significado de los diferentes niveles de probabilidad

Nivel de probabilidad	NP	Significado
Muy alta (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continuada, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia
Alta (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en el ciclo de vida laboral
Media (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Baja (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

- Se determinó el nivel de riesgo a partir del nivel de probabilidad (NP) y del nivel de consecuencias (NC).

$$NR = NP \times NC$$

Tabla 5. Determinación del nivel de consecuencias

Nivel de consecuencias	NC	Significado	
		Daños personales	Daños materiales
Mortal o Catastrófico (M)	100	1 muerto o más	Dstrucción total del sistema (difícil renovarlo)
Muy Grave (MG)	60	Lesiones graves que pueden ser irreparables	Dstrucción parcial del sistema (compleja y costosa la reparación)
Grave (G)	25	Lesiones con incapacidad laboral transitoria (I.L.T)	Se requiere paro de proceso para efectuar la reparación
Leve (L)	10	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización	Reparable sin necesidad de paro del proceso

Tabla 6. Determinación del nivel de riesgo y de intervención

		Nivel de Probabilidad (NP)			
		40-24	20-10	8-6	4-2
Nivel de Consecuencias (NC)	100	I 4000-2400	I 2000-1200	I 800-600	II 400-200
	60	I 2400-1440	I 1200-600	II 480-360	II 240 III 120
	25	I 1000-600	II 500-250	II 200-150	III 100-503
	10	I 400-240	II 200 III 100	III 80-60	III 40 IV 20

- Se determinó los niveles de intervención, considerando resultados.

Tabla 7. Significado del nivel de intervención

Nivel de intervención	NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Corrección urgente.
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control.
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique.

- Se realizó el contraste de los resultados obtenidos con los estimados a partir de fuentes de información.

2.2 Riesgos físicos

Para los riesgos físicos como iluminación y ruido que pueden generar inconvenientes o afecciones de salud a los trabajadores, es importante realizar mediciones para conocer la cantidad de luxes y decibeles que se están generando en los puestos de trabajo, debido a los altos costos para adquirir los equipos de medición (luxómetro y sonómetro), se utilizó aplicaciones libres de la web y se realizó las mediciones en los diferentes puestos utilizando aplicaciones para celular o tablet llamada Light Meter y SPL Meter, que sirven para obtener mediciones de iluminación y ruido respectivamente.

• Iluminación

Se tomaron muestras de mediciones para cada uno de los puestos de trabajo que tienen deficiencia en la iluminación artificial, el número de muestras tomadas se establecieron en tres mediciones, parte central de la mesa, parte izquierda y derecha de la misma, según figuras 1-2-3.



Figura 1. Medición de iluminación parte central del puesto de trabajo



Figura 2. Segunda medición de iluminación parte izquierda del puesto de trabajo



Figura 3. Tercera medición de iluminación parte derecha del puesto de trabajo

Con las mediciones obtenidas se realizó el promedio de las mediciones tomadas para obtener un solo valor de iluminación por cada puesto de trabajo, y la fórmula estadística para obtener el promedio o media aritmética, se establece como la relación entre la sumatoria del valor de iluminación para el número de muestras tomadas. A continuación, se detalla la fórmula estadística utilizada.

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

Dónde:

- \bar{X} es el promedio o media aritmética.
- Xi es el valor medido de iluminación en lux.
- n es el número de muestras tomadas.

• **Ruido**

Se tomaron muestras de mediciones para los puestos de trabajo, que por las condiciones y actividades propias del proceso generaban dificultades en este tipo de riesgo.

Los trabajadores permanecen expuestos al ruido durante la jornada laboral de 8 horas al día, se debe establecer los valores mínimos de exposición, con la finalidad de precautar la salud de los trabajadores y se pueda cumplir con la normativa técnica y legal con respecto a la cantidad de decibeles permitidos.

Para el análisis se consideró la toma de muestras por puesto de trabajo, según la tabla 8 que establece el proceso de medición para distintos días y según las horas de trabajo.

Tabla 8. Día y hora para medición del ruido

NÚMEROS ALEATORIOS PARA LA MEDICIÓN DEL RUIDO EN HORARIO DE TRABAJO.				
Martes 3 ^{ra}	Jueves 3 ^{ra}	Viernes 4 ^{ta}	Martes 6 ^{ta}	Viernes 7 ^{ma}
Lunes 6 ^{ta}	Martes 8 ^{va}	Martes 3 ^{ra}	Jueves 8 ^{va}	Miércoles 8 ^{va}
Miércoles 2 ^{da}	Lunes 8 ^{va}	Lunes 8 ^{ta}	Lunes 2 ^{ra}	Martes 2 ^{da}
Jueves 8 ^{va}	Jueves 5 ^{ta}	Miércoles 6 ^{ra}	Martes 5 ^{ta}	Jueves 4 ^{ra}
Lunes 4 ^{ta}	Lunes 2 ^{ra}	Lunes 5 ^{ra}	Viernes 7 ^{ma}	Lunes 3 ^{ra}

Establecidas las mediciones, se realizó un promedio de las mediciones, utilizando la fórmula estadística considerada para el caso anterior. Los valores de las mediciones fueron diferentes ya que existe horas de trabajo donde hay mayor o menor cantidad de decibeles, esto genera una variación del nivel del ruido que depende de las actividades que se desarrollan en ese momento.

2.3 Riesgos ergonómicos

Para la evaluación de los riesgos ergonómicos, se utilizó el software Ergo/IBV (figura 4), software que permite aplicar cuestionarios de chequeo para cada riesgo con preguntas técnicas que permite obtener resultados con un alto porcentaje de confiabilidad en el estudio.



Figura 4. Software Ergo/IBV

Para la evaluación del riesgo de posturas forzadas, se utilizó el método REBA, para evaluar el sobreesfuerzo se utilizó el método NIOSH con la finalidad de obtener el NR en el puesto de trabajo del área de bodega, esto seleccionando en la pantalla de presentación del software (figura 5).

3. RESULTADOS

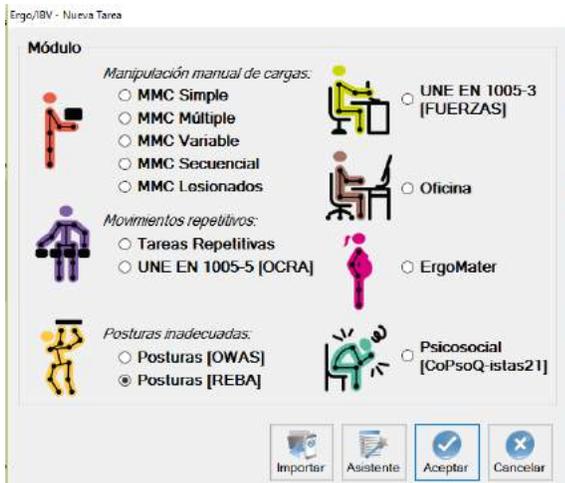


Figura 5. Selección del método para evaluar el riesgo ergonómico

Una vez determinado el método se procede a evaluar el riesgo y se determina el nivel de riesgo en cada método aplicado, según tablas 9 y 10.

Tabla 9. Determinación del nivel de riesgo e intervención - método REBA

Puntuación REBA		
Puntuación REBA	Nivel de riesgo (NR)	Nivel de intervención (NI)
1	Inapreciable	No necesaria
2-3	Bajo	Puede ser necesaria
4-7	Medio	Necesaria
8-10	Alto	Necesaria pronto
11-15	Muy alto	Necesaria ahora

Tabla 10. Determinación del nivel de riesgo e intervención - método NIOSH

Puntuación NIOSH	
Nivel del riesgo (ND)	Interpretación del índice
Riesgo aceptable	(Índice ≤ 1). La mayoría de trabajadores no debe tener problemas al ejecutar este tipo de tareas.
Riesgo moderado	($1 < \text{Índice} < 1,6$). En principio, las tareas de este tipo deben rediseñarse para reducir el riesgo. Bajo circunstancias especiales (por ejemplo, cuando las posibles soluciones de rediseño de la tarea no están lo suficientemente avanzadas desde un punto de vista técnico), pueden aceptarse estas tareas siempre que se haga especial énfasis en aspectos como la educación o entrenamiento del trabajador.
Riesgo inaceptable	(Índice $\geq 1,6$). Debe ser modificada la tarea.

3.1 Riesgos mecánicos

Los resultados obtenidos para la evaluación de los riesgos mecánicos, aplicando la metodología NTP 330 en los puestos de trabajo, se detalla a continuación:

Tabla 11. Resumen de los niveles de riesgos mecánicos

NIVELES DE RIESGOS MECÁNICOS SEGÚN LA NTP 330, IDENTIFICADOS				
PUESTOS DE TRABAJO	FACTORES DE RIESGO MECÁNICO	NIVEL DE RIESGO		NIVEL DE INTERVENCIÓN
Bodega	Caída de objetos en manipulación	400	Corregir	II
	Choque contra objetos inmóviles	400	Corregir	II
	Choque de objetos desprendidos	1000	Situación crítica	I
	Desplome derrumbamiento	1000	Situación crítica	I
	Incendio	2400	Situación crítica	I
Cambio de neumático Rin 24 para volqueta	Caída de personas al mismo nivel	400	Corregir	II
	Caída de objetos en manipulación	400	Corregir	II
	Cortes y golpes con objetos	400	Corregir	II

3.2 Riesgos físicos

Los resultados obtenidos en la medición de los riesgos físicos (iluminación y ruido) en los puestos de trabajo, se detallan a continuación:

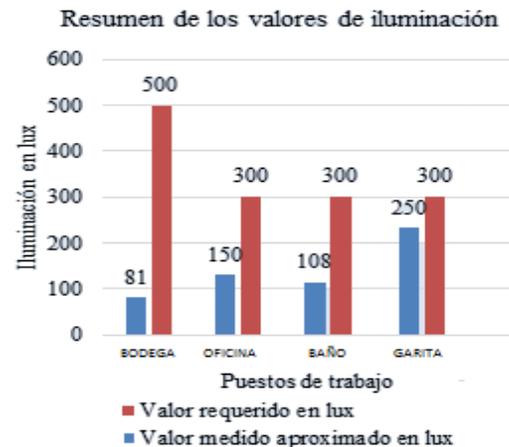


Figura 6. Resumen gráfico de las mediciones de iluminación en la bodega

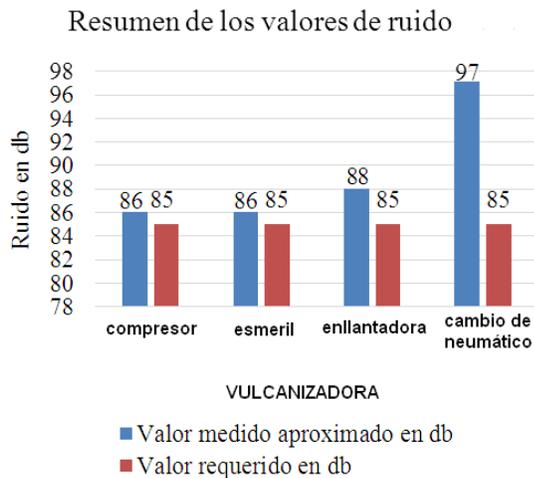


Figura 7. Resumen gráfico de las mediciones de ruido en la vulcanizadora

3.3 Riesgos ergonómicos

Los resultados para la evaluación de los riesgos ergonómicos, mediante las metodologías REBA y NIOSH en los puestos de trabajo, se detalla a continuación:

Tabla 12. Resumen del nivel de riesgo ergonómico - posturas forzadas método REBA

NIVEL DE RIESGO ERGONÓMICO OBTENIDO EN EL SOFTWARE ERGO/IBV UTILIZANDO MÉTODO REBA		
PUESTO DE TRABAJO	PUNTUACIÓN	NIVEL DE RIESGO
Bodega	12	Muy alto
Cambio de neumático Rin 24 para volqueta	4	Medio

Tabla 13. Resumen del nivel de riesgo ergonómico - posturas forzadas método NIOSH

NIVEL DE RIESGO ERGONÓMICO OBTENIDO EN EL SOFTWARE ERGO/IBV UTILIZANDO MÉTODO NIOSH		
PUESTO DE TRABAJO	ÍNDICE	NIVEL DE RIESGO
Bodega	2,45	Moderado
Cambio de neumático Rin 24 para volqueta	3,2	Inaceptable

3.4 Gestión de riesgos mecánicos, físicos y ergonómicos

Las medidas preventivas de los riesgos mecánicos, físicos y ergonómicos a tomar en cuenta, se detallan basados en las normativas técnicas y legales a nivel nacional e internacional, que deben ser implementados en los talleres,

cumpliendo en su totalidad y socializados a los trabajadores para que exista el compromiso de precautelar la integridad física y poder realizar las actividades laborales de manera segura y saludable.

La gestión de riesgos mecánicos, físicos y ergonómicos, se establecieron con los siguientes parámetros técnicos y legales estipulados en las normativas vigentes en materia de Seguridad y Salud Ocupacional:

- Medidas preventivas para riesgos mecánicos.
Es obligatorio realizar un mantenimiento periódico de las instalaciones eléctricas.
Asegurarse que los hilos conductores están en buen estado, nunca puede haber cables pelados.
Procedimiento para el transporte, almacenamiento correcto en bodega de productos inflamables, y manejo seguro de oxígeno y acetileno.
Mantener una buena ventilación de la bodega para evitar mezcla de gases.
- Medidas preventivas para riesgos físicos.
Mantener en buenas condiciones el sistema de iluminación artificial.
Evitar obstaculizar el medio que emite luz.
Utilizar los EPI auditivos idóneos, especialmente cuando sea obligatorio al superar los 85db.
- Medidas preventivas para riesgos ergonómicos.
Maneje de forma segura los materiales y adopte las posturas correctas, para la manutención y elevación de cargas, al objeto de evitar la fatiga física.
Aproveche el movimiento inicial de un objeto para moverlo con un menor esfuerzo.
Mantener posturas adecuadas al momento de extraer y colocar neumáticos.

4. DISCUSIÓN

Existen varias metodologías para evaluar los riesgos mecánicos y cada una tiene diferentes tipos de valoraciones al momento de encontrar el nivel de riesgo, la metodología NTP 330 es la más adecuada debido a que utiliza cuestionarios de chequeo para identificar las condiciones de trabajo en los puestos, pero se recomienda que los cuestionarios sean adaptados al lugar de trabajo para que el estudio tenga un mejor criterio de evaluación.

Existen varias aplicaciones libres para realizar mediciones de iluminación y ruido en lo referente a riesgos físicos, pero se recomienda realizar las mediciones utilizando los equipos respectivos (luxómetro y sonómetro) que se encuentran debidamente calibrados y certificados para su uso.

En los riesgos ergonómicos, el uso de un software ayuda en el proceso de evaluación, es de gran importancia la capacitación para utilizar el software, es decir se debe conocer de manera detallada las herramientas que ofrecen dicho programa para la correcta aplicación.

La gestión de riesgos abarca varios parámetros importantes que se deben considerar en una empresa dedicada a cualquier tipo de procesos productivos o de servicio, para ello es importante tener un amplio conocimiento con respecto a las medidas preventivas que se deben considerar al momento que los trabajadores realizan las actividades, para generar un ambiente laboral adecuado, es necesario el compromiso de todos los trabajadores de las distintas áreas de trabajo en crear una cultura segura y saludable, con la finalidad de impedir pérdidas humanas y económicas por malos actos y condiciones inseguras.

5. CONCLUSIONES

Se determinó que en los riesgos mecánicos como es el caso de incendio, fue el riesgo de mayor incidencia identificado y evaluado mediante cuestionarios de chequeos elaborados de manera técnica y aplicada correctamente.

Mediante la aplicación de la metodología NTP 330, se obtuvo un valor de NR de 2400 para explosiones e incendio en los puestos de bodega, encontrándose en una situación crítica, siendo los riesgos mecánicos de mayor incidencia.

Mediante el uso de las aplicaciones libres Light Meter y SPL Meter, se obtuvo los valores de medición de iluminación y ruido, siendo los de mayor incidencia en los puestos de bodega con 81 luxes y el cambio de neumáticos con 97 decibeles respectivamente.

Mediante el uso del software libre Ergo/IBV, se obtuvo los valores de NR y el índice de la tarea para los riesgos de posturas forzadas y sobreesfuerzo establecidos en 12 y 3,2 respectivamente, aplicando las metodologías REBA y NIOSH.

Se elaboró los procedimientos para el transporte, almacenamiento y manejo de oxígeno y acetileno, con la finalidad de tomar acciones preventivas al momento de manipular materiales inflamables y herramientas, mejorando los hábitos de trabajo para que las condiciones de las mismas sean seguras y saludables.

BIBLIOGRAFÍA

- C.D. 513, I. E. (2016). *Reglamento del Seguro General de Riesgos del Trabajo*. Quito.
- C.D. 513, I. E. (2016). *Reglamento del Seguro General de Riesgos del Trabajo*. Quito.
- Decreto 2393. (1986). *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*. Quito.
- ERGA FP, C. e. (2015). *Caídas a distinto nivel*. Barcelona.
- Ergo/IBV, I. (s.f.). *Instituto de Biomecánica de Valencia*. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de Instituto de Biomecánica de Valencia: <http://www.ibv.org/>
- INSHT, I. T. (2011). *Manipulación Manual de Cargas*. Ecuación NIOSH. Barcelona.
- NTP 270, N. T. (1971). *Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos*. Barcelona.
- NTP 330, N. N. (1991). *Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidentes*. Barcelona.
- NTP 452, N. N. (1995). *Evaluación de las condiciones de trabajo: carga postural*. Barcelona.
- NTP 495, N. d. (1998). *Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad*. Barcelona.
- NTP 601, N. d. (2001). *Evaluación de las condiciones de trabajo: carga postural. Método REBA*. Barcelona.
- NTP 629, N. T. (2003). *Movimientos repetitivos: método de evaluación OCRA*. Barcelona.

Análisis ergonómico de los vaqueros durante la extracción de leche en la Estación Experimental Tunshi – ESPOCH y mejoras mediante la automatización

Silvio Ordóñez Berrones¹, Franklin Dávila Molina¹, Jhonny Orozco Ramos¹, Eduardo García Cabezas¹, Carlos Santillán Mariño²
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Carrera Ingeniería Industrial, Grupo de Investigación de Nuevas tecnologías “AUTOPRO”
Riobamba, Chimborazo, Ecuador

ingjmorozco@gmail.com, nando.ord1415@gmail.com; franklinfast173@gmail.com;
egarcia@esPOCH.edu.ec; carlos.santillan@esPOCH.edu.ec

Resumen

Se desarrolla un estudio de las posiciones que adoptan los vaqueros para conseguir la apertura y cierre de las puertas de las jaulas de ordeño en la sala de extracción de leche de la Estación Experimental Tunshi. Para ello se realizan videos para extraer los ángulos de las desviaciones existentes en los vaqueros considerando las posiciones de hombros, flexión y giro de tronco, inclinación y giro de cuello para realizar un análisis ergonómico haciendo uso de software Ergo/IBV y el método de evaluación REBA, obteniendo una puntuación de 11, lo que significa que los vaqueros tienen un riesgo muy alto y se necesita de una intervención inmediata. Se realiza una implementación de un sistema neumático que reemplace la fuerza física del vaquero por cilindros de doble efecto controlados por electroválvulas 5/2 con pilotaje electromagnético por medio de pulsadores independientes, consiguiendo con esto la eliminación de los problemas ergonómicos y evitando enfermedades músculo-esqueléticas a largo plazo, además de la reducción del tiempo empleado para la extracción de leche.

Abstract

A study of the positions that the cowboys adopt to get the opening and closing of the doors of the milking cages in the milk extraction room of the Tunshi Experimental Station is developed. For this, videos are made to extract the angles of the deviations existing in the jeans, considering the positions of shoulders, flexion and trunk rotation, tilt and neck turn to carry out an ergonomic analysis using Ergo / IBV software and the evaluation method REBA, obtaining a score of 11, which means that the cowboys have a very high risk and immediate intervention is needed. An implementation of a pneumatic system that replaces the physical strength of the cowboy with double effect cylinders controlled by 5/2 solenoid valves with electromagnetic control by means of independent pushbuttons is implemented, achieving with this the elimination of the ergonomic problems and avoiding musculoskeletal diseases. in the long term, in addition to the reduction of the time used for the extraction of milk.

INTRODUCCIÓN

La Estación Experimental Tunshi, área pecuaria, es parte de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y pertenece a la Facultad de Ciencias Pecuarias. Se basa en cuatro pilares fundamentales para el avance institucional como son: apoyo académico, investigación, vinculación y gestión. La Estación cuenta con la planta de producción de balanceados para aves, cerdos, conejos, ganado y con la planta de ordeño mecánico para la producción de leche, siendo éste último el sitio en el cual se desarrollará el estudio.

La extracción de leche se realiza sobre una sala tipo Tándem, la cual posee un foso central para los vaqueros, permitiendo la manipulación de las puertas de cada jaula desde este espacio. Este sistema se utiliza cuando se requiere ordeñar un bajo número de bovinos por hora y a medida que se otorga una atención y manejo individual por bovino. Por ello los bovinos realizan su arribo y salida de la sala de forma independientemente. (Filigrana M., 2007). Para (Callejo & Díaz , 1998), Cuando se tiene un buen diseño de distribución y automatización para la entrada y salida de los bovinos, se puede lograr índices de ordeño entre 50 y 80 vacas por hombre y hora. El sistema Tándem busca que cada bovino se ordeñe en jaulas individuales por medio de una puerta de entrada y una de salida, que conectan a un pasillo de circulación. Las jaulas de extracción se colocan una a continuación de otra, con los ductos de leche en la parte inferior de la fosa (Callejo & Díaz , 1998).

El ordeño mecanizado con que cuenta la planta de ordeño, consiste en primera instancia en la extracción de la leche luego de colocadas las pezoneras en el bovino procurando que esta extracción sea rápida para de esta forma minimizar traumas al animal. El flujo de leche que se está extrayendo es detectado por el sistema, y si es inferior a la referencia configurada por los operarios, automáticamente se retiran las pezoneras de la ubre del bovino evitando así el sobre ordeño. Culminado la extracción se efectúa el sellado de los pezones, mediante un lavado de estos y recubrimiento con yodo para impedir el crecimiento bacteriano. Para culminar el proceso se realiza una limpieza del lugar y equipos utilizados. (ASAJ, COAG, UPA, & CCOO INDUSTRIA, 2015) (Callejo Ramos, 2015), Considera que los automatismos aumentan el rendimiento de las instalaciones, destacando que la mayoría mejoran el entorno de trabajo, sin descuidar la manipulación y salud de los animales.

Las condiciones de trabajo, se comprende como la interacción entre las operaciones que realizan los vaqueros y su organización, que son detectables en los puestos de trabajo y que afectan directamente a la salud del trabajador. Para la evaluación ergonómica se debe realizar una inspección de los factores a los que se encuentran expuestos los trabajadores considerando sus posturas, cargas que manipulan y las actividades repetitivas que realizan. Considerando los mismos factores al momento de seleccionar el método de evaluación. (Navas Almodóvar, 2016)

Hoy en día con el paso del tiempo y el avance tecnológico se han creado muchas herramientas para automatizar los procesos en las industrias que están orientados a la comodidad con el ahorro del tiempo y esfuerzo; en este caso consiguiendo mejoras en las condiciones de trabajo de los vaqueros quienes realizan la tarea de ordeño. Considerando que la actividad lechera en el Ecuador ha sido una tarea fundamental en el desarrollo de productos lácteos, la misma que ha ido evolucionando a través del tiempo, se ha hecho una necesidad el tener procesos más eficientes con tendencia hacer automáticos.

METODOLOGÍA

La metodología que se aplica empieza con trabajo de campo por medio de la observación, ya que el proyecto tiene como fin la implementación de un sistema capaz de controlar la apertura y cierre de cada una de las puertas, para sustituir el esfuerzo físico y posiciones forzadas que realizan los vaqueros al utilizar manualmente estas puertas durante las jornadas de ordeño, utilizando equipos y herramientas tecnológicas con la capacidad de interactuar armónicamente en un mismo sistema.

SITUACIÓN ACTUAL



Figura 1: Posición de manos por encima del hombro.

Mediante la observación durante las visitas en las jornadas de ordeño se evidenció en la Estación Experimental Tunshi, las posturas inadecuadas que adoptaban los vaqueros al momento que realizan las actividades de apertura y cierre de las puertas de las jaulas de ordeño, entre ellas se presta atención a hombros alzados, flexión de tronco, giro de tronco, inclinación de cuello, giro de cuello y además la fuerza que realiza sus brazos (figura1). Por ello se decide hacer un análisis ergonómico de dichas tareas, extrayendo filmaciones (frontal, lateral, superior) que nos permitirán generar imágenes para determinar las desviaciones presentes en las posturas que adoptan los vaqueros para su posterior análisis en el software Ergo/IBV, instalado en el laboratorio de ergonomía de la escuela de ingeniería industrial de la ESPOCH.

Para ello se siguen los siguientes pasos:

1. Se abre el software Ergo/IBV y en el cuadro de diálogo que se despliega se selecciona el método que se aplica para el análisis, en este caso REBA (Rapid Entire Body Assessment), y aceptamos, como muestra la figura 2. Se selecciona éste porque nos permite un análisis conjunto de las posiciones que adopta los miembros superiores, tronco, cuello y piernas, además de la carga postural dinámica y estática.

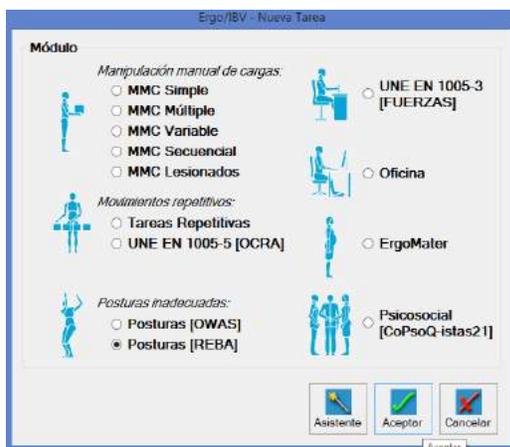


Figura 2: Interfaz Software Ergo/IBV

2. En el siguiente cuadro, se llena la información correspondiente en cada espacio, y se escoge una nueva sub tarea, figura 3. En esta parte se añade todas las actividades que se analizarán, como muestra en la figura 4.

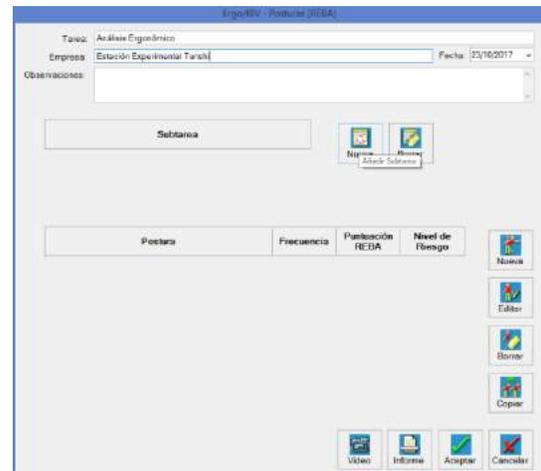


Figura 3: Título del análisis ergonómico

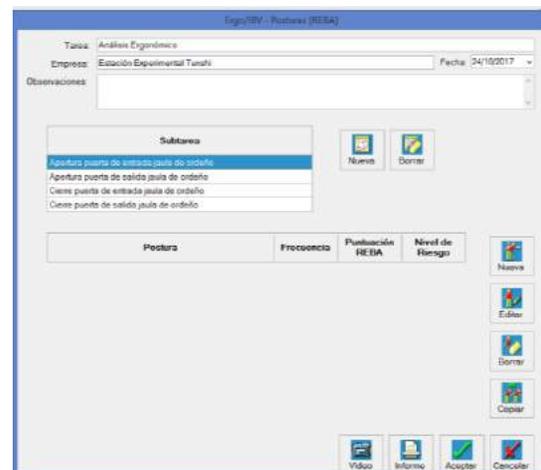


Figura 4: Detalle de las sub tareas por analizar

3. Una vez creadas las sub tareas para el análisis se procede a llenar la información correspondiente a cada una de ellas, haciendo clic en la opción nueva, desplegando el siguiente cuadro de diálogo, figura 5. En este caso se muestra la información para la sub tarea de apertura de la puerta de entrada de la jaula de ordeño.

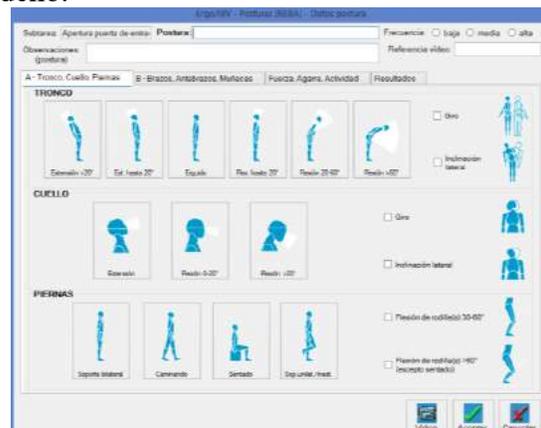


Figura 5: Interfaz del método seleccionado

4. La primera parte de este cuadro de diálogo se llena con la postura parada del vaquero y una frecuencia de actividad media.

Para el resto de información se extraen imágenes de los videos obtenidos en las diferentes visitas a la estación y realizar en ellas las diferentes mediciones correspondientes que requiere el software para realizar el análisis.

La figura 6 muestra la flexión que tiene el tronco del vaquero en un ángulo de 11° , el giro que realiza su cuerpo, las piernas en soporte bilateral y la inclinación lateral de 21° . Esto ayuda para seleccionar en el software la parte de tronco, cuello y piernas, figura 7.



Figura 6: Mediciones de tronco, cuello y piernas

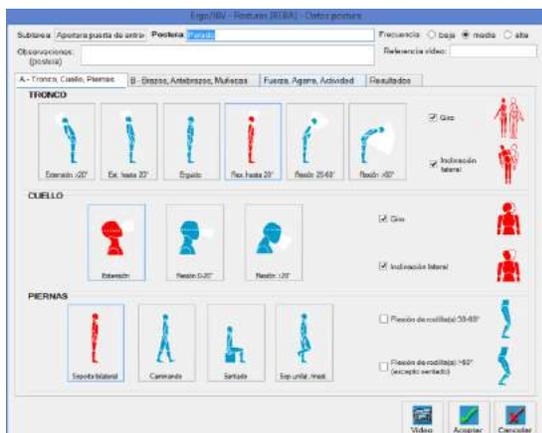


Figura 7: Determinación de tronco, cuello y piernas

5. En el análisis de brazos, antebrazos y muñecas se realiza el mismo procedimiento anterior según las imágenes obtenidas, en primera instancia para la parte derecha del cuerpo, figura 8, donde se evidencia que el brazo de los vaqueros se encuentra entre 125° y 159° , abiertos y el hombro alzado. La posición del antebrazo tiene un ángulo de 28° y la muñeca un ángulo de 40° . Entendiendo que para la apertura

y cierre de la puerta de entrada del bovino la actividad la realizan con la mano derecha y en el caso de la puerta de salida la realizan con la mano izquierda. El detalle de este análisis se puede evidenciar en la figura 9 y figura 10.



Figura 8: Mediciones de brazos, antebrazos y muñecas



Figura 9: Especificación de brazos, antebrazos y muñecas. Lado derecho



Figura 10: Especificación de brazos, antebrazos y muñecas. Lado izquierdo

6. En la parte de fuerza, agarre y actividad se selecciona cada una de las especificaciones del software según las mediciones obtenidas en imágenes. Para la parte de fuerza se hizo la medición usando una balanza de mano

(romanilla). En la figura 11 se evidencia la fuerza que realiza el vaquero para la apertura y cierre de las puertas que oscila entre los 6 y 8 kg y con este valor se procede a seleccionar en el software para seguir con el análisis como muestra la figura 12.



Figura 11: Medida de la fuerza (romanilla) para apertura y cierre de puertas manual

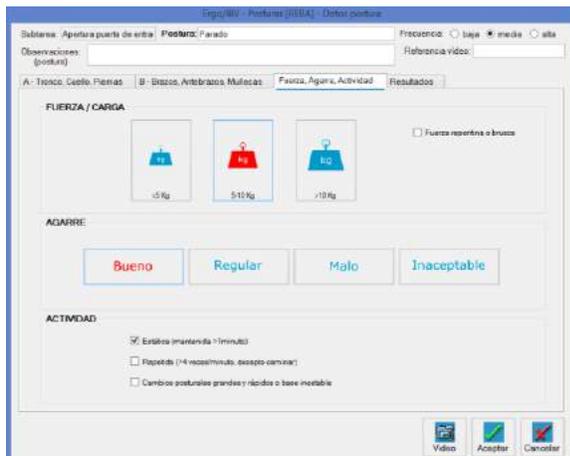


Figura 12: Especificación de la fuerza, agarre y actividad

7. Para terminar, se pasa a la opción de resultados donde se evidencia la puntuación obtenida del análisis. Los resultados de las sub tareas analizadas se muestran en la figura 13.

Teniendo en cuenta que este mismo proceso se realiza para las siguientes sub tareas en las que también se evidenció el mismo resultado llegando a determinar que el riesgo al que están expuestos los vaqueros durante el desarrollo de las actividades de apertura y cierre de puertas es muy alto con un nivel de acción necesaria e inmediata.

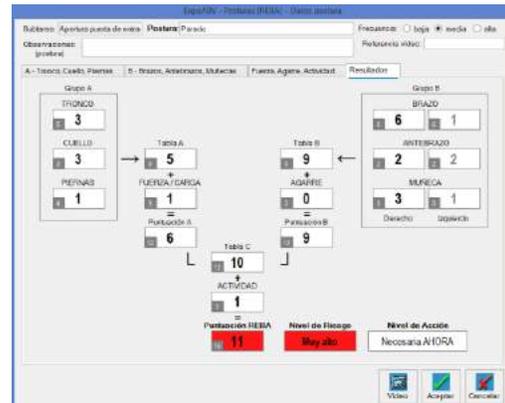


Figura 13: Resultado del análisis ergonómico para las tareas de apertura y cierre de las puertas en las jaulas.

Analizado este gran problema se decide realizar una implementación de un sistema neumático que controle este sistema de apertura y cierre de puertas, con la finalidad de eliminar las enfermedades profesionales que pueden llegar a tener los vaqueros a largo plazo.

Por cada puerta existente, el nuevo sistema consta de cilindro de doble efecto neumáticos que será controlado por una electroválvula 5/2 con pilotaje electromagnético. Mientras que el cambio de estado en la electroválvula se generará por la interacción entre el vaquero y un pulsador para la apertura y otro para el cierre.

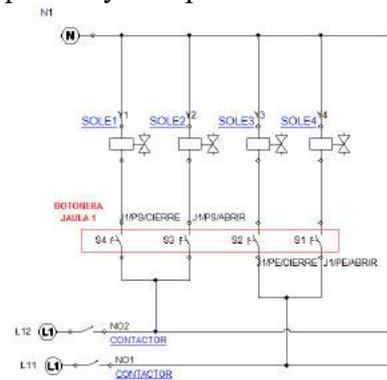


Figura 14: circuito eléctrico para el control de cilindros de doble efecto para una jaula de ordeño.



Figura 15: Actuador neumático



Figura 16: Botoneras

RESULTADOS

Gracias a la implementación de cilindros de doble efecto, los vaqueros no necesitan realizar esfuerzo físico para la apertura o cierre de alguna puerta, pues se sustituye este esfuerzo humano por el esfuerzo mecánico que otorgan los cilindros neumáticos.

Se realiza una implementación de un sistema neumático que controle la apertura y cierre de puertas, con la finalidad de eliminar las enfermedades profesionales que pueden llegar a tener los vaqueros a largo plazo.

Por cada puerta existente, el nuevo sistema consta de cilindro de doble efecto neumáticos que será controlado por una electroválvula 5/2 con pilotaje electromagnético. Mientras que el cambio de estado en la electroválvula se generará por la interacción entre el vaquero y un pulsador para la apertura y otro para el cierre.

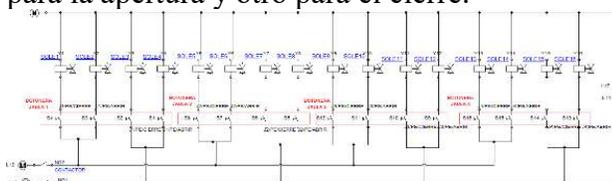


Figura 17: Circuito eléctrico

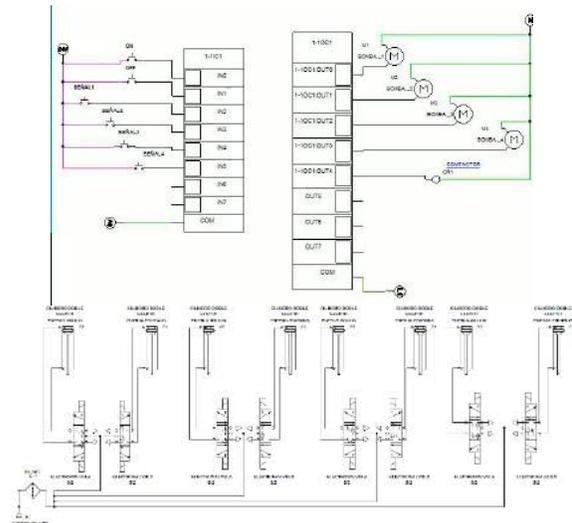


Figura 18: Circuito lógico y neumático

Con la energización de solenoides por medio de pulsadores, el vaquero necesita alrededor de 1 segundo para realizar apertura o cierre de alguna puerta, reduciendo de esta manera el tiempo que necesita para realizar la extracción de leche.



Figura 19: Apertura y cierre de puertas mediante la fuerza neumática controlado por pulsadores

CONCLUSIONES

Se detectó que la exposición a riesgos ergonómicos de los vaqueros es muy alta y necesita una intervención inmediata para evitar enfermedades profesionales a largo plazo.

La implementación del sistema neumático elimina el problema ergonómico al que están expuestos los vaqueros, debido a que se sustituye el uso de la fuerza física por fuerza neumática mediante cilindros de doble efecto, para realizar la manipulación de las puertas.

REFERENCIAS

ASAJ, COAG, UPA, & CCOO INDUSTRIA. (2015). *PORTAL MULTIMEDIA PARA LA PROMOCION DE LA ERGONOMÍA EN EL SECCTOR AGRARIO*. Recuperado el 18 de 11 de 2017

Callejo Ramos, A. (2015). *http://oa.upm.es*. Recuperado el 19 de 11 de 2017, de http://oa.upm.es/34365/1/INVE_MEM_2001_186644.pdf

Callejo, A., & Díaz , V. (1998). *Diseño de instalaciones de ordeño*. Barcelona: Mundi-Prensa libros.

Filigrana M., D. (2007). *Adecuación de instalaciones para vacas de ordeño*.

Cali: Artes Gráficas del Valle Ltda.

Navas Almodóvar, P. (2016). *Estudio ergonómico de la tarea de ordeño en explotación ganadera*. Recuperado el 18 de 11 de 2017, de

http://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/1363/2013_01_02_TFM_ESTUDIO_DEL_TRABAJO.pdf

Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresas aplicando métodos del diseño mecánico

Santiago López Ortiz, Isaias Caicedo Reyes, Marco Payasco Paguay

Escuela Superior Politécnica De Chimborazo

sa_lopez@esPOCH.edu.ec, isaias.caicedoq@esPOCH.edu.ec, mpayasco@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar y construir una máquina para el proceso de clasificación de fresas. Para su diseño, se partió con la concepción de la idea; que requerimientos debe satisfacer la máquina y que funciones deben incluirse, luego aplicamos métodos y herramientas de diseño mecánico, con las que se plantean y analizan diferentes propuestas para llegar a la selección de la alternativa óptima que presenta las mejores cualidades. Luego, se calculó los parámetros de funcionamiento respecto a fuerza y velocidades para seleccionar correctamente los elementos de transmisión y estructurales asegurando la resistencia mecánica de la máquina. Con los cálculos y medidas necesarias se construyó la máquina logrando clasificar fresas con una proporción de 100 kg/h mejorando así los procesos de clasificación convencionales además se observa un ahorro monetario debido a la reducción de horas de trabajo estimando que es una propuesta deseable para la agroindustria.

Palabras clave

Máquina clasificadora, fresas, diseño conceptual, construcción, agroindustria.

Abstract:

The main objective of this work is to design and build a machine for the strawberry classification process. For its design, it started with the conception of the idea; what requirements the machine must meet and what functions must include, then applications and mechanical design tools, with the characteristics that are proposed and analyzed proposed differences to reach the selection of the alternative that presents the best qualities. Then, the operating parameters were calculated to ensure the mechanical speed of the machine. With the calculations and the necessary measures, the machine was built to achieve a classification of 100 kg / h thus improving the conventional classification processes, in addition a monetary saving was observed due to the reduction of working hours, which is a desirable proposal for the agroindustry.

Index Terms

Sorting machine, strawberries, conceptual design, construction, agroindustry.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las maneras más aconsejable para mantenerse saludable es el consumo de frutas en nuestra dieta diaria siendo de las frutas de más aceptación la fresa según el artículo de la revista *The Plant List*, que brindan las vitaminas A, B, C, D, E, K, folato, potasio, nutriente importante para equilibrar los electrolitos, fibra, fibra dietética, y antioxidantes que son fundamentales para prevención de las enfermedades crónicas (Daugaard 2001). Un proceso fundamental en el cultivo de la fresa es la clasificación de la fruta según criterios de peso, tamaño, color, para ello se conoce 3 métodos de forma manual y mecánica, utilizando principios básicos por simple inspección o por sensores. (Molina, 1993)

Es recomendable que el fruto cosechado se clasifique y almacene a bajas temperaturas en el menor tiempo posible, para evitar su deterioro en un aproximado del 80% en solo 8 horas, de esta manera se mejora la apariencia del fruto por las siguientes 72 horas, haciéndolo más duradero y manteniendo sus rasgos de un fruto apetecible. Cuando el propósito es la exportación del fruto se recomienda cosecharse, entre 50 y 75% de maduración, y almacenar de inmediato en cámaras frías (0- 10° C) El transporte debe ser en refrigeración a 4° C. (Hydro Environment.com.mx). En Ecuador la fresa se cultiva prácticamente en toda la región andina por sus condiciones climáticas, de suelo y altura favorables para el desarrollo del fruto; se aproxima una extensión de 800 hectáreas de cultivo con una inversión de 1.500,00 dólares en ½ hectárea obteniendo por cosecha 50.00 dólares por semana de la producción. (El Agro, 2013).

Aproximadamente el 70% de la producción es manual, y el resto se lo realiza con máquinas artesanales que tienen una capacidad de clasificación entre 50 kg/h– 100 kg/h. (Angos, 2013). Por este motivo el objetivo general del presente trabajo es diseñar y construir una máquina capaz de clasificar 100 kg/h de fresa con lo cual satisface la demanda en función de producción y garantiza un incremento de la productividad, una

disminución significativa de los costos con un aumento de la calidad del producto clasificado.

Los objetivos específicos son proponer una metodología integrada para el proceso de diseño, selección y fabricación de la máquina clasificadora de fresas que sirva de guía para la elaboración de trabajos posteriores, además se pretende construir y evaluar la máquina clasificadora de fresas en correspondencia a la capacidad proyectada de 100kg/hora así como la efectividad de la clasificación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Todo proceso de diseño se compone de etapas secuenciales y que en algunos casos forman ciclos para refinamiento de resultados, la cantidad de etapas depende de la complejidad del producto y se puede acortar este proceso si se sigue una metodología clara, debido a que los datos serán recolectados y organizados de una manera más eficiente. (Riba C, 2006)

En el presente trabajo se toma en cuenta varias metodologías y herramientas para un proceso de diseño más completo; el método clásico de (Pahl y Beitz, 1977) que establece etapas básicas de ideación, desarrollo conceptual y diseño de detalle. En la etapa de ideación se establece el requerimiento de capacidad, material, seguridad y ergonomía además se agregan características y especificaciones propuestas por el usuario y el diseñador.

En el desarrollo conceptual se analizan las funciones y subfunciones mediante el uso del diagrama de la caja negra y diagrama de flujo; ahora se puede conocer como realizará la máquina y se pueden estudiar que tipo de sistema puede adaptarse (mecánico, eléctrico, neumático o hidráulico). Es así que se proponen cuatro alternativas de solución para luego escoger la más óptima mediante una aplicación matemática de ponderación de criterios.

En la siguiente etapa de diseño de detalle se seleccionan los componentes del sistema (se usa un

simulador para verificar el correcto funcionamiento del sistema) y se mide el factor de seguridad de los componentes mediante un análisis de elementos finitos para asegurar la resistencia de la estructura, con esta información es posible construir la máquina además de obtener los planos de piezas y conjuntos.

A. Normas que rigen para la construcción y la manipulación de alimentos

En éste enunciado se describen las normas a las que se regirán el diseño, basada en estándares nacionales e internacionales con esto se pretende tener una máquina que cumpla con todas las características de diseño y cumpla con la norma de manipulación de alimentos.

Norma CEP-ENEN 01:1987. Norma ecuatoriana que enfoca su uso a la manipulación de alimentos con prácticas generales de higiene, incluso el cultivo y recolección, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y venta de alimentos para el consumo humano para garantizar un producto sano y saludable.

Reglamento Técnico Ecuatoriano. RTE INEN 131 “SEGURIDAD E HIGIENE DE MAQUINARIA PARA PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS”.

Establece los parámetros de seguridad e higiene que debe cumplir la máquina con el objetivo de proteger la seguridad, la vida y la salud de las personas y medio ambiente.

UNE-EN 1672-2:2006 +A1:2009. Maquinaria para procesado de alimentos conceptos básicos. Parte 2: requisitos de higiene.

ISO 14159:2002 (E). Seguridad de las máquinas. Requisitos de higiene para el diseño de las máquinas

B. Ideación

En este apartado, el objetivo es conocer las especificaciones de diseño requeridas y deseadas por los usuarios y por los diseñadores. Entonces se entiende por especificación requerida, aquella necesaria para el funcionamiento de la máquina y

especificación deseada, a toda aquella que no es imprescindible, pero mejora las cualidades de la máquina. Para determinar estas características se realizó un listado como se aprecia en la siguiente tabla.

TABLA I. TABLA DE ESPECIFICACIONES

Características:				
Denominación	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		D	R	Clasificación de fresas a razón de 100 kg/h
Energía		C	R	Energía eléctrica 110 V.
Materiales		C	R	Acero Inoxidable 304.
Vida útil		D	D	Vida útil 90%
Mantenimiento		D	R	Mantenimiento de forma fácil y segura
Dimensiones		C	D	Altura máxima de 1.2 m
Seguridad y ergonomía	y	C	R	El nivel de ruido no debe exceder un máximo de 60DB.
Construcción y montaje	y	D	R	clasificación de fresas por tamaño

Propone: R/D: D= Deseo, MR= Modificación de requerimiento, C= Cliente, M= Márketin, R= Requerimiento, D= Diseño, P= Producción, F= Fabricación.

C. Diseño Conceptual.

El diseño conceptual es una herramienta necesaria para establecer diferentes alternativas del elemento o mecanismo que se vaya a construir y con esto evitar errores futuros. (Maury H, 2009). A continuación, se realizó la caja negra de la herramienta como se puede apreciar en la siguiente figura, se especificaron los elementos de entrada y salida del sistema.



Fig 1. Caja negra de funciones

En la siguiente figura se realizó el análisis de funciones y subsunciones en la cual se puede apreciar los elementos de los que estaría conformada dicha herramienta. Se establece la secuencia de funciones.

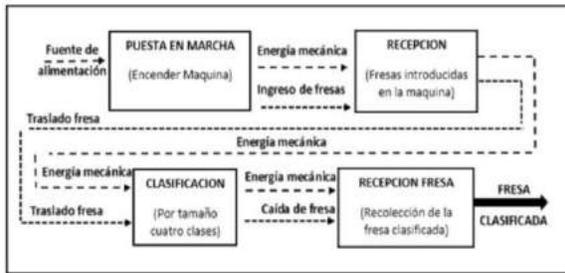


Fig 2. Análisis de funciones y subsfunciones

Luego se realiza el análisis de alternativas, buscando diferentes opciones para que se cumplan las funciones de la máquina. Mediante una matriz morfológica se muestran las diferentes combinaciones de las opciones disponibles.

FUNCIÓN	OPCIONES		
PUESTA EN MARCHA	AUTOMÁTICO	MANUAL	
RECEPCION DE LA FRUTA	BANDA TRANSPORTADORA	TOLVA	
MECANISMO DE CLASIFICACION	CILINDROS PERFORADOS	RODILLOS	CABLES Y
TRANSPORTE	GRAVEDAD		
RECOLECCION DE LA FRUTA	BANDA	BANDEJA	
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Fig 3. Matriz morfológica

En la matriz morfológica se trazaron tres diferentes caminos, cada uno de estos caminos nos mostró una configuración diferente de la máquina. La alternativa 1 tiene como principal característica que la fresa llega traída por el operador hasta la bandeja de recepción,

evitando causar daños y que la fruta caiga lo más prudente posible por gravedad, luego de la recepción, la fresa pasara a través de una banda transportadora en esta etapa se desea obtener que el producto se ordene y acomode a lo largo y ancho de la banda para posterior pasar hacia un sistema de cilindros perforados de selección por tamaño y por gravedad la fresa seleccionada caiga a sus bandejas que estarán ubicadas en un extremo de la máquina. En la alternativa 2 Su accionamiento es automático mediante una programación se encenderá por un tiempo determinado, la fresa llega a los rodillos de transporte que conducen ordenadamente hasta el sistema de selección, los rodillos de selección están ubicados y separados a distancias requeridas por el usuario, la fresa selecciona cae por gravedad a una banda transportadora hacia la caja y posteriormente es retirada de las misma por el operador. Por último en la alternativa 3 la fruta es traída por el operador y colocada sobre la tolva evitando causar en su mayoría daños al fruto, posterior la fruta es conducida hacia un sistema de cables que se mueven a la misma velocidad, la distancia de separación entre cables aumenta a medida que se va avanzando y el producto es transportado a lo largo de la máquina, el fruto por tamaño cae hacia una bandeja por gravedad la cual conduce al producto hacia las bandejas para su posterior empaquetado y transporte.

Para la valoración se tomará en cuenta los aspectos y parámetros más determinantes que nos permitirán obtener los siguientes criterios de valoración:

Norma RTE INEN 131 para la manipulación de alimentos. Considera los parámetros fundamentales para utilización de materiales en la construcción de la máquina.

Precio. Consideraciones de precios competentes en el mercado.

Clasificación de diámetros diferentes. Clasificar dependiendo al tipo de clase y tamaño requerido en el mercado.

Capacidad. Capaz de clasificar 100 kg/hora de fresas.

TABLA II. CRITERIO DE EVALUACIÓN CUALITATIVA

Capacidad > Clasificación > Norma RTE INEN 131 = Precio						
Criterio	Norma RTE INEN 131	Precio	Clasificación diferentes diámetros	Capacidad	Σ+1	Ponderación
Norma RTE INEN 131	0,5	0,5	0	0	1,5	0,15
Precio	0,5	0,5	0	0	1,5	0,15
Clasificación diferentes diámetros	1	1	0	0	3	0,3
Capacidad	1	1	1	0	4	0,4
Sumatoria					10	1

En el análisis realizado se puede observar que la Alternativa que mayor cumple con los criterios de evaluación es la numero 3 por lo tanto tomaremos esta solución, la máquina estará compuesta por un sistema de dosificación manual, la recepción se hará a través de una tolva, mecanismo de clasificación por cables y poleas, la fresa clasificada caerá por gravedad. Luego de esto se realizará el diseño basados en los parámetros antes descritos.

TABLA III. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Alternativa	Norma RTE INEN 131	Costo de fabricación	Clasificación diferentes tipos	Capacidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,045	0,068	0,099	0,121	0,334	2
Alternativa 2	0,045	0,045	0,066	0,121	0,278	3
Alternativa 3	0,045	0,023	0,198	0,121	0,388	1

D. Diseño De Detalle

Cálculo de flujo de fresas

Tomamos en cuenta la capacidad requerida que es de 100 kg/h se determina un flujo de 3,675 lb/min, considerando 5 tipos de fresas según el peso se obtiene el número de fresas clasificadas por minuto para cada clase.

TABLA IV. FLUJO DE FRESAS PARA CADA CLASE

	5TA CLASE	4TA CLASE	3RA CLASE	2DA CLASE	1ERA CLASE
Peso promedio cada fresa (lb)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
# de fresas x libra	87	55	35	27	20
fresas/min	320	203	128	99	74

Cálculo de la potencia

Para hallar la potencia necesaria de la máquina se utiliza la fórmula de combinación de fuerzas lineales y de rotación propuesta por el autor Alan Hendrickson. (Hendrickson, 2008 p. 130)

$$P_{max}=(F_{accel}+F_{fricc})\cdot V_{max}+(T_{accel})\cdot W_{max} \quad (1)$$

Donde:

P_{max} = Es la suma de la potencia lineal y la potencia rotatoria [watts]

F_{accel} = Fuerza de aceleración. [N]

F_{fricc} = Fuerza de fricción. [N]

T_{accel} =Torque de aceleración. [N.m]

W_{max} =Velocidad angular. [Rad/s]

Remplazando todos los valores, se tiene:

$$P_{max}=(F_{accel}+F_{friction})v_{max}+(T_{accel})\omega_{max}$$

$$P_{max}=(37.4N+472N)(1.353ms)+(0.335N.m).(142.1\ rad/s)$$

$$P_{max}=736.75\ Watts=0.98\ Hp$$

Selección de componentes

Encontrado la potencia necesaria se selecciona los principales elementos del sistema motriz, estos componentes se muestran en la siguiente tabla.

TABLA V. COMPONENTES SELECCIONADOS PARA LA MÁQUINA

COMPONENTE	UNID ADES	MARCA/CARACTERÍSTICAS
Motor eléctrico	1	WEG/ modelo Steel motor nema 56 con 1720 rpm, potencia de 1 hp
Sistema de reducción	1	RAISA/ modelo NUGS-63, i=33
Acomplamiento mecánico	1	LOVEJOY/ tipo L/AL070
Bandas transportadoras	18	OPTIBELT/ color naranja tipo A 85 FDA para la industria alimenticia
Chumaceras	14	SKF/ modelo UCF 20

Diseño Por Resistencia Mediante Software Cae.

El diseño CAE es de vital importancia para el desarrollo de la máquina ya que gracias al empleo del método de elementos finitos se puede dimensionar de manera correcta la estructura y obtener un factor de seguridad apto para la posterior construcción. El método de análisis es un diseño por resistencia estática, para ello es necesario determinar el esfuerzo de Von-Misses que en relación al limite de fluencia del material

se calcula un factor de seguridad. Es necesario también determinar las deformaciones producidas por los esfuerzos generados en el material y que pueden generar mal funcionamiento de la herramienta en caso de ser muy grandes (Shigley J, Mishke Ch, 2002). De esta manera se obtuvo un esfuerzo máximo de 2068 MPa, factor de seguridad mínimo de 9,5 que al ser mayor a 1 no se produce falla por fluencia en el material. El análisis de deformaciones mostro una deformación en la estructura de 2.4 mm en la zona crítica y que no supone ningún fallo en el funcionamiento de la herramienta.

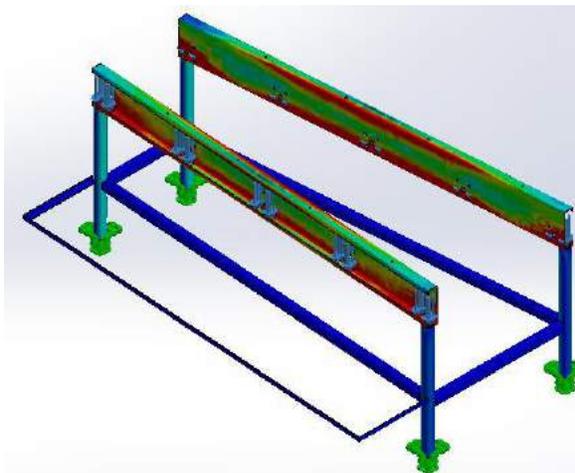


Fig 4. Esfuerzos producidos en diferentes componentes de la herramienta

III. RESULTADOS

A. Construcción De La Herramienta Neumática.

La construcción y el posterior montaje de la maquina clasificadora de fresas muestran el resultado de la etapa del diseño de materialización donde se calcularon los parámetros fundamentales y se seleccionaron los elementos que constituyen la máquina, siguiendo una serie de procesos realizados para cada elemento que conforma es sistema estructural, sistema de dosificación, sistema de selección, sistema de recolección, sistema motriz. A continuación, se muestra el diagrama de flujo para el montaje de los diferentes sistemas.

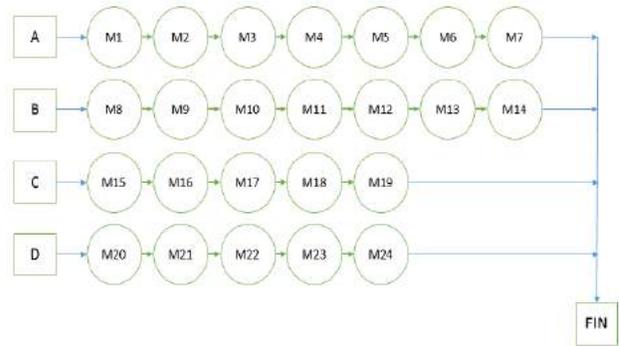


Fig 5. Diagrama de flujo del proceso de montaje.

A: Montaje del sistema motriz.

B: Montaje del sistema clasificación.

C: Montaje del sistema de recolección.

D: montaje del sistema de dosificación

También se puede observar los diferentes sistemas que constituyen la máquina en la siguiente figura.

Tolva de dosificación	
Sistema de clasificación	
Bandejas de recolección de fresas seleccionadas por tamaños.	
Sistema motriz de la máquina	

Fig 6 Sistemas de la máquina clasificadora

B. Descripción de la herramienta neumática.

La herramienta neumática orientada al cambio de amortiguadores con espirales trabaja con una presión de entre 6 a 10 Bar y consta de un cilindro neumático que imprime la fuerza necesaria para comprimir el espiral, un juego de tres bases helicoidales intercambiables para diferentes diámetros de espiral, puertas de seguridad y cadena de seguridad para proteger la integridad física del operario, un par de barras guía y collarines que conducen el movimiento del cilindro, un par de brazos con garras ajustables que se sujetan al espiral para comprimirlo, una base frontal para mantener el amortiguador en su lugar durante el recambio, una palanca de accionamiento para manipular el cilindro neumático y una unidad de mantenimiento para asegurar la lubricación del circuito neumático y regular la presión de aire.

C. Manual procedimiento y mantenimiento.

A continuación, se presenta una secuencia de pasos que se debe seguir y sirve al operario para realizar el proceso de clasificación de fresas.

TABLA VI. MANUAL PROCEDIMIENTO

Paso	Procedimiento
1	Verificar la tensión de los cordones del sistema de clasificación, en el caso de no contar con una tensión necesaria ajustar los pernos ubicados en el eje motriz inferior, así mismo revisar que todos los cordones estén en su lugar y puestos en la ranura de las poleas.
2	Verificar la conexión eléctrica del motor hacia una fuente de energía de 120 V, y verificar que el botón de paro de emergencia se encuentre en la posición Normalmente cerrado.
3	Pulsar el botón de encendido ubicado en la parte lateral derecha de la máquina.

Paso	Procedimiento
4	Colocar los cartones sobre los soportes levantar las compuertas de las tolvas de salida del fruto clasificado.
5	Levantar la gaveta de fresas cosechadas y llenar el producto en la tolva
6	Retirar la fresa seleccionada por tamaños de la tolva y posterior retirar los cartones de 7 kg una vez llenada su capacidad.

Al estar en constante movimiento los elementos de la máquina clasificadora de fresas con el pasar del tiempo sufren desgaste y por ende el mal funcionamiento de sus mecanismos por lo cual conlleva tener un plan de mantenimiento que ayudara asegura un buen funcionamiento y prolongar la vida útil de cada uno de estos elementos, por ello se presenta un manual de mantenimiento.

TABLA.VII.

MANUAL DE MANTENIMIENTO

Plan de mantenimiento preventivo de la máquina clasificadora de fresas						
Parte	Nº	Actividad	Recurso	Tiempo	Insumos y herramientas	Frecuencia
Estructura	1	limpieza	1 Ope.	15 min.	Desinfectante.	Diario
Sistema de clasificación	2	regulación	1 Ope.	30 min.	Calibrador, llave hexagonal	Diario
Poleas	3	Verificar y ajustar.	1 Ope.	15 min.	Inspección visual, llave hexagonal	Diario
Correas	4	Tensionar	1 Ope.	10 min.	Juego de llaves	Mensual
Chumaceras	5	Revisar y ajustar	1 Ope.	10 min.	llave hexagonal	Semanal
Motor	6	Revisar y ajustar	1 Elec.	10 min	Juego de llaves.	mensual

Donde:

Ope: Operador.

Mec: Mecánico.

Elec: electricista.

D. Pruebas

Las pruebas realizadas en la máquina clasificadora de fresas tuvieron como objetivo principal demostrar la eficacia del diseño realizado y corregir los errores de diseño o fabricación que identificamos en esta etapa.

Para evaluar la efectividad de la máquina en correspondencia con la capacidad de clasificación proyectada a 100 kg/hora, así como la efectividad de la clasificación, se desarrollaron ensayos que tenían como variable de salida el tiempo de clasificación y la efectividad de la clasificación, es decir que las fresas clasificadas por la máquina corresponden con las clases y tamaños establecidos. Además, se observó el probable daño causado a la fruta por el proceso de clasificación al interactuar con la máquina.

Para desarrollar la prueba se hicieron 10 repeticiones en cada una de las cuales se llenó la tolva a su máxima capacidad proyectada, con 7 kg de fresa. Las fresas frutas fueron seleccionadas de diferentes tamaños según fueron cosechadas, antes de comenzar la prueba se ajustaron los componentes y elementos de clasificación, luego se encendió la máquina hasta alcanzar su velocidad nominal.

Los resultados de clasificación de cada muestra de 7 kg fueron recogidos en cada una de las salidas que tienen la máquina, los que se corresponden con los cuatro tipos de clase proyectada, en recipientes diferentes, posteriormente en cada recipiente fue verificado si el tamaño de la fresa correspondía con la clase de cada recipiente, con la ayuda de un pie de rey. De conjunto con lo anterior determinaron el número de frutas con daños por el proceso de clasificación. En cada repetición de se midió tiempo de clasificación.

TABLA. VIII. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CAJA DE 7 KG

Muestra	CALIDAD DE LA CLASIFICACIÓN						% DE FRUTA CLASIFICADA CORRECTAMENTE	% DE FRESAS DAÑADAS EN EL PROCESO
	Tiempo de clasificación (min)	% de FRUTAS BIEN CLASIFICADAS EN CADA CLASE						
		5ta. %	4ta. %	3ra. %	2da. %	1ra. %		
1	36.90	7,1	15,7	30,00	32,9	10,0	95,7	4,3
2	38.10	8,57	17,14	25,71	30,00	15,71	97,1	2,9
3	40.48	10,00	18,57	27,14	32,86	10,00	98,6	1,4
4	38.10	7,14	17,14	28,57	30,00	14,29	97,1	2,9
5	42.86	8,57	20,00	24,29	30,00	14,29	97,1	2,9
6	45.24	11,43	18,57	27,14	34,29	7,14	98,6	1,4
7	38.10	14,29	17,86	28,57	14,29	25,00	100,0	0
8	36.19	14,29	21,43	28,57	28,57	5,71	98,6	1,4
9	37.14	5,71	17,86	28,57	35,71	12,14	100,0	0
10	41.67	7,14	14,29	21,43	35,71	21,43	100,0	0
MEDIA	39,48	9,43	17,86	27	30,43	13,57	98,3	1,7
MIN	36,19	5,71	14,29	21,43	14,29	5,71	95,7	1,4
MAX.	45,24	14,29	21,43	30	35,71	25	100	2,9

IV. DISCUSIÓN

Analizando los resultados de la tabla en relación con el tiempo se observa que el valor medio está en los 0.7 horas (40 min) y oscila entre 36 y 45 minutos, si tomamos en cuenta que la clasificación manual de una persona especializada tardan un tiempo de hasta 2 horas (120 min), entonces la máquina representa un valor de ahorro en tiempo de 1.3 horas (80 min), si evaluamos entonces en 8 horas de trabajo (480 min) de la máquina clasifica 1200 kg (170 cajas) a comparación de una persona que en 8 horas selecciona 400 kg (57 cajas), por tanto la máquina ahorra en tiempo 5,33 horas (320 min) y en peso 800kg (114 cajas) de fresa. Comparando económicamente estos valores y sabiendo que el costo de mano de obra por persona en el proceso de agricultura está alrededor de 10 dólares Americanos por jornada de trabajo y que solo alcanza 400 kg (57 cajas) utilizando la máquina clasificadora triplica la producción y representa un ahorro de 30 dólares por jornada y un total de 600 dólares al mes.

En relación a la calidad de clasificación se observa que por media no disminuye nunca del 98,3% de buena calidad del fruto, lo cual se encuentra en un rango de calidad adecuado es decir que, de 100 kg de fresa, 98,3 kg es óptima y solo 1,7 kg de fresa sufre algún tipo de daño en el proceso, ya sea en el sistema de clasificación, por encontrarse con más del porcentaje de madures requerido para la aplicación o por efectos varios.



Fig 7 Comparación de métodos manual y mecánica.

Como podemos observar en la figura anterior comparando el método manual y el método mecánico es recomendable utilizar la máquina clasificadora de

fresas, haciendo una diferencia nos indica que el método mecánico es más rápido y sobrepasa al método manual en un 46%, en productividad de fresa seleccionada en 1 hora

V. CONCLUSIÓN.

Con este trabajo se desarrolló una máquina para la clasificación de fresas de funcionamiento rápido, eficiente y seguro, además el uso de metodologías de diseño mecánico, catálogos de fabricantes y los programas CAD-CAE permitieron el diseño y por ende la construcción óptima de la máquina.

La guía de funcionamiento y el manual de mantenimiento le sirve al operario de la máquina para ejecutar correctamente los pasos desde la alimentación del fruto hasta la recolección del producto clasificado, además el cumplimiento de las recomendaciones de mantenimiento alargará la vida útil de la máquina, de esta manera se puede presentar como una alternativa para la comercialización en la industria agrícola.

Al analizar el funcionamiento de la máquina se determina que el tiempo promedio de clasificación es de 40 minutos que fue 1.2 horas menor a la clasificación manual, el 1,7% de daño y mala clasificación fue insignificante con lo cual cumple con el objetivo propuesto, en el orden económico se obtuvo un ahorro de 600 dólares al mes y se redujo el tiempo de trabajo y se triplicó la cantidad de fresa clasificada.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo "ESPOCH", a Cristian Bonifaz que participó en este proyecto.

REFERENCIAS

Angos, M y Calvopiña, E. (2013). *Diseño, construcción y simulación de una máquina clasificadora de frutos por su tamaño*. Quito. ESPE

Daugaard, H. (2001). *Nutritional status of strawberry cultivars in organic production*.

J. Plant Nutrit. 24(9),1337-1346

El Agro. (2013). *Agricultores le apuestan al cultivo de fresa*.

Hendrickson, A. (2008). *Mechanical design for the Estage*. Oxford.USA.

Hurtado C, V. R. (s.f.). *Diseño conceptual, generación y evaluación de alternativas*. Universidad del Atlántico.

Hydro environment. (2016). *Guía para el cultivo de fresa*.

Maury, H. (2012). *Aportaciones metodológicas al diseño concurrente: aplicando sistemas continuos de manipulación y procesamiento primario de materiales a granel*. Barcelona. UPC

Molina, E. Salas, R. y Castro, A. (1993). *Curva de crecimiento y absorción de nutrientes en fresa (Fragaria x ananassa Duch. Cv.Chandler)*. Agronomía Costarricense. 17(1),63-67.

Pahl y Beitz. (2000). *Engineering design*. Bogota. McGraw-Hill.

Riba C, M. A. (2006). *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora*. Barcelona: Edicions UPC.

Shigley J, Mishke Ch. (2002). *Diseño de ingeniería mecánica*. Mexico: Mc Graw Hill.

UNE-EN 1672-2:2006 A1:2009. *Maquinaria para proceso de alimentos. Conceptos básicos. Parte 2: Requisitos de higiene*.

Maury H, N. e. (2009). *Diseño para la manufactura y ensamblaje de productos soldados, un enfoque metodológico y tecnológico*. Barranquilla: Uninorte.



Durante los días 18, 19 y 20 de diciembre de 2017, la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo fue el punto de encuentro de investigadores de Ecuador, Colombia, México, Chile, Hungría y Alemania. El evento reunió a más de 80 investigadores que presentaron más de 30 ponencias, conferencias y pósters referentes a los avances e innovaciones en el campo del diseño, construcción, desarrollo e innovación en los diferentes campos de la ingeniería.

ISBN: 978-9942-8697-8-4

