



ESPE
SOCIETAT D'INGENYERS DE MÈTALS
DE SPAIN

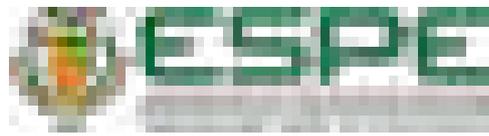
Revista de la Sociedad Española de Ingenieros de Metales
de España
Fundada en 1908

Nº 9

Energía Mecánica

INNOVACIÓN Y FUTURO





UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

• CUERPO EDITORIAL

CRNL. E.M.C. ROBERTO XAVIER JIMÉNEZ V. PhD.
Rector.

TCRN. DE E.M. DIELO IVANOVISH JIMÉNEZ C.
Director .

TCRN. DE E.M. PEPE FERNANDO IBAÑEZ J.
Subdirector

ING. JOSÉ BUCHELI A. MSc.
Jefe Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología

ING. EURO MENA M. MSc.
Director General de la revista
Director del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

ING. GERMÁN ERAZO LAVERDE MSc.
Docente Tiempo Completo, Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE/ Editor General, SAEM R&D

ENERGÍA MECÁNICA , INNOVACIÓN Y FUTURO

Revista de Difusión No.9
ISSN : 1390 - 7395
Publicación Anual
500 EJEMPLARES

• RESPONSABLE LEGAL:

Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga
Quijano y Ordoñez y Hnas. Páez.
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
emecanica@espe.edu.ec
einnovacion-el@espe.edu.ec
wgerazo@espe.edu.ec
032810206 Ext. 4306
Diciembre 2020
500 ejemplares.

• EQUIPO TÉCNICO:

Gestión técnica
Tnlga. Sonia Chacón Claudio

Diseño de la revista:
Ing. Ruth Pullopaxi Gutiérrez.

Impreso en:
Gráficas Latacunga



• COMITÉ CIENTÍFICO EDITORIAL

PhD. ENDER CARRASQUERO C.
Director Académico del Centro Venezolano de Estudios del
Trabajo y Ergonomía

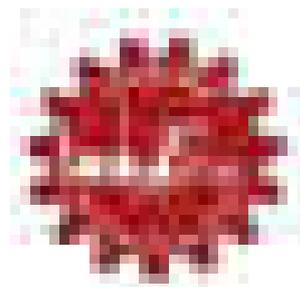
PhD. MARÍA ELENA VILLAPOLO
CYA.
Docente Auckland
Universty of Technology

PhD. GUSTAVO RODRÍGUEZ
CIYA - UTC
Universidad Técnica de Cotopaxi.

PhD. RICARDO URRUTIA
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga

ING. ÓSCAR ARTEAGA LÓPEZ MSc.
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga,
SAEM R&D

ING. NÉSTOR ROMERO G. MSc.
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga,



ÍNDICE

APLICACIÓN DEL MODELO DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS COMPLETAMENTE AL AZAR PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES EN CASOS PRÁCTICOS DE INGENIERÍA

APPLICATION OF THE COMPLETE RANDOM EXPERIMENTAL DESIGN MODEL FOR THE ANALYSIS AND DECISION MAKING IN PRACTICAL ENGINEERING CASES

10 - 24 ■

Eliana Elizabeth Morillo Taco¹, César Sebastián Silva Proaño²

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EXPERIMENTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE HARDWARE ESPECÍFICO

AUTOMATION SYSTEM FOR EXPERIMENTS ON THE THERMAL BEHAVIOR OF SPECIFIC HARDWARE

25 -33 ■

Alex Santana G.¹, Mauricio Naranjo E.², Luis Santana A.³, María Oñate P.³, Pedro Malagón M.⁴

SIMULACIÓN DE UN NODO DE COMUNICACIÓN VEHICULAR MEDIANTE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN FLEXRAY USANDO CANOE

SIMULATION OF A VEHICULAR COMMUNICATION NODE THROUGH THE FLEXRAY COMMUNICATION PROTOCOL USING CANOE

34 - 39 ■

Alex Llerena¹, Fernando Gomez², Adolfo Peña³

ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LA CARROCERÍA TIPO VOLKSRÖD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

STRUCTURAL ANALYSIS USING THE FINITE ELEMENTS METHOD OF THE VOLKSRÖD-TYPE CAR BODY FOR THE CONSTRUCTION OF AN ELECTRIC PROPULSION VEHICLE

40 - 49 ■

Franklin Patricio Fonseca Paredes¹, Javier Milton Solís Santamaría², Leonardo Danilo Arroba Muñoz³, Ángel Guillermo Masaquiza Yanzapanta⁴

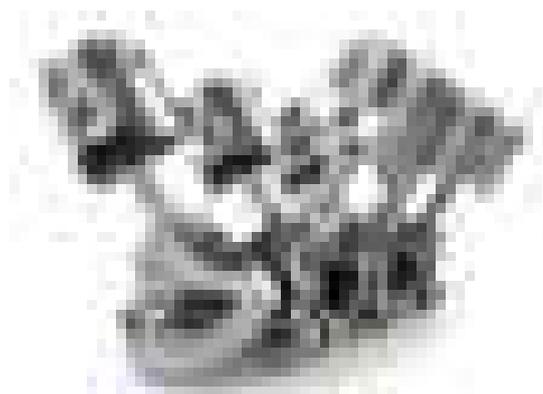
MANTENIMIENTO CONTROLADO DE BATERÍAS DE ALTA GAMA UTILIZADAS EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

CONTROLLED MAINTENANCE OF HIGH-RANGE BATTERIES USED IN ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS

50 - 55 ■

Diego Fernando Gallo Tafur¹, Jorge Stalin Mena Palacios², Cristhian Javier Valverde Estévez³

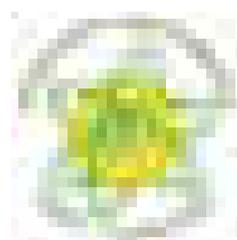
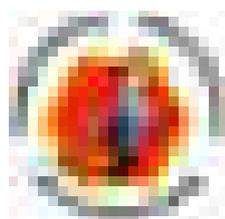
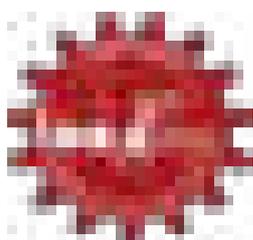
- SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EXPERIMENTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE HARDWARE ESPECÍFICO
- 56 - 66 AUTOMATION SYSTEM FOR EXPERIMENTS ON THE THERMAL BEHAVIOR OF SPECIFIC HARDWARE
- Cristina del Rocío Sánchez Lara¹ Gabriela C. Sarango O.¹ Rodrigo A. Cárdenas Y.² Edwin A. Chamba M.³ Diego G. Cuasapud P.⁴ Bryan J. Briceño M.⁵
-
- SIMULACIÓN DE DESEMPEÑO DEL HABITÁCULO DE SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO LIVIANO A IMPACTO FRONTAL SOBRE UNA PARED RÍGIDA POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS
- 67 - 83 PERFORMANCE SIMULATION OF THE SAFETY CABIN OF A LIGHT VEHICLE AT FRONT IMPACT ON A RIGID WALL BY THE FINITE ELEMENT METHOD
- Edwin Alfonso Chamba¹, Rodrigo Andrés Cárdenas², Bryan Jhon Briceño Martínez³, Diego Geovanni Cuasapud Puente⁴
-
- SISTEMA MÓVIL DE EXTRACCIÓN DE GASES DE ESCAPE EN UN LABORATORIO-TALLER AUTOMOTRIZ
- 84 - 92 MOBILE EXHAUST GAS EXTRACTION SYSTEM IN A LABORATORY-AUTOMOTIVE WORKSHOP
- Fernando Gómez¹, Alex Llerena², Adolfo Peña³
-
- TRUCAJE DE LOS ELEMENTOS FIJOS DEL MOTOR NISSAN J15 PARA CONTRIBUIR EN LA OPTIMIZACIÓN SUS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO
- 93 - 103 MODIFICATION OF THE FIXED ELEMENTS OF THE NISSAN J15 ENGINE TO CONTRIBUTE IN THE OPTIMIZATION OF ITS PERFORMANCE PARAMETERS
- González Heras David Moisés¹, Lozada Chiguano, Jhon Roberto², Marcelo Fabián Salazar Corrales³
-
- ANÁLISIS DE SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA LA ADAPTACIÓN EN LA CARROCERÍA MODIFICADA VOLKSROD DEL VOLKSWAGEN TIPO 1
- 104 - 116 ANALYSIS OF SELECTION OF THE ELECTRIC MOTOR FOR ADAPTATION IN THE MODIFIED VOLKSROD BODY OF THE VOLKSWAGEN TYPE 1
- Juan Gabriel Ballesteros López¹, Orlando Vladimir Miranda Reyes², Jessica Lizbeth Bayas Izurieta³, Diego Hernán Punina Poveda⁴
-



PRESENTACIÓN

REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO

Es una publicación de difusión científica de periodicidad anual con ISSN 1390 – 7395, que relaciona el área de Ciencias de la Ingeniería y Profesiones afines. Pertenece a la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE , Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, El Grupo de Investigación SAEM R&D, que permite difundir trabajos de investigación de profesionales internos y externos con temáticas relacionadas a: Diseño y mecánica computacional, procesos de manufactura, mecánica de sólidos, energía y termofluidos, sistemas automotrices, petroquímica y mecatrónica a través de temas de interés, relevancia y actualidad tecnológica. Dispone de un comité editorial conformado por personal interno y externo, así como de un amplio grupo de profesionales que realizan la función de revisores que permiten seleccionar la información a ser difundida a través de la revisión por pares.





“La tecnología no es nada. Lo importante es que tengas fe en la gente, que sean básicamente buenas e inteligentes, y si les das herramientas, harán cosas maravillosas con ellas” .-Steve Jobs.

La virtud que conduce para alcanzar metas es la constancia, es este concepto que se evidencia en la novena edición de la revista de difusión científica ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO, que a través del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se presenta a la comunidad universitaria y científica.

Se evidencia la participación activa de docentes y la de articulistas invitados que contribuyen a fortalecer esta publicación, la cual comparte trabajos de investigación en diversas áreas del conocimiento relacionados con la ciencias de la ingeniería y profesiones afines, buscando permanentemente la mejora continua en este interesante proceso de enseñanza aprendizaje que contribuyan al desarrollo del país, dar a conocer las experiencias adquiridas sobre diversos asuntos como: materiales usados en la industria, energías alternativas, sistemas automotrices y Mecatrónicos, diseño de materiales así como la implementación de normas técnicas implementadas en la industria.

Quiero dejar constancia del reconocimiento por el trabajo tesonero, esfuerzo y perseverancia de todas las personas que han permitido materializar por novena ocasión esta revista científica.

Ing. Dielo Ivanovich Jiménez C. MGS.

TCRN. de E.M.

Director





La IX edición de la Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, realiza la difusión de trabajos de investigación con el aporte de profesionales de la academia con temas relevantes a las áreas de ciencias de la ingeniería y profesiones afines.

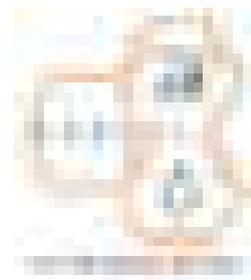
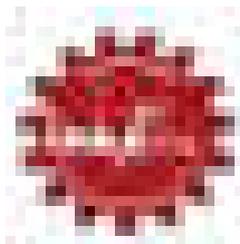
Las publicaciones son seleccionadas en base al procedimiento establecido los mismos que tienen calidad científica y tecnológica generada en la comunidad académica y el Grupo de Investigación SAEM R&D, lo que da como resultado la producción de material de interés y consulta para profesionales, estudiantes de las carreras de ingeniería automotriz, mecánica, mecatrónica, petroquímica y relacionadas a estos campos del saber.

A través de un proceso riguroso de revisión y selección se han considerado temas relevantes como procesos de fabricación, energías alternativas, análisis mecánico computacional, materiales en la industria automotriz, sistemas automotrices, procesos mecatrónicos así como trabajos de investigación de innovación en las áreas de ingeniería y profesiones afines.

La motivación permanente a la colectividad y a la comunidad académica nacional e internacional para contribuir con publicaciones y su difusión a través de esta publicación de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, al Grupo de Investigación SAEM R&D para continuar innovando con excelencia.

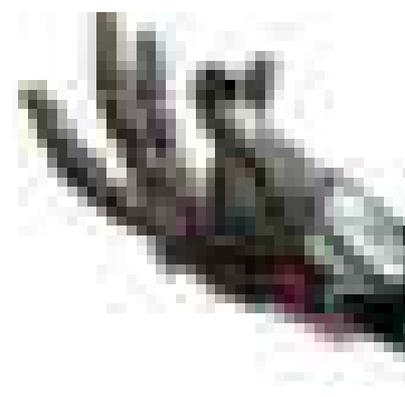
Ing. Germán Erazo Laverde MSc.

Editor



***NÓMINA DE PROFESIONALES QUE COLABORARON COMO PARES DE REVISIÓN
EN LA V EDICIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO***

Ing. Celin Abad Padilla Padilla Msc.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos MSc.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
MSc. Luis Tipanluisa PhD(c)	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ing. Pedro Moreno MSc.	Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
MSc. Sebastián Puma PhD(c)	Instituto Tecnológico de Monterrey, México
Ing. Abel Remache MSc.	Universidad Central del Ecuador
Ing. Flavio Arroyo Morocho MSc.	Universidad Central del Ecuador
Ing. Alex Santiago Cevallos Carvajal	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Alexandra Corral Díaz MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Henry Heriberto Iza Tobar Mgs	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. José Lizandro Quiroz MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Leonidas Antonio Quiroz MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Luis Antonio Mena Navarrete MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Marco Adolfo Singaña Amaguaña MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Mario Polibio Jiménez León	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Víctor Danilo Zambrano León MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Wilson Marcelo Román Vargas Mg.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
PhD. Julio César Pino Tarragó	Universidad Estatal del Sur de Manabí
Ing. Daniela Alexandra Jerez Mayorga MSc.	Universidad Internacional del Ecuador
Ing. Juan José Castro Mediavilla MSc.	Universidad Internacional del Ecuador
Ing. Julio César Leguísamo MSc.	Universidad Internacional SEK del Ecuador
Ing. Edwin Homero Moreano Martínez MgC.	Universidad Técnica de Cotopaxi
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso	Universidad Técnica de Cotopaxi
Ing. Fredy Rosero Obando MSc.	Universidad Técnica del Norte
Ing. Ramiro Rosero MSc.	Universidad Técnica del Norte
Cristian Laverde Albarracín MSc.	Universidad Técnica Estatal de Quevedo



Fecha: _____
Señor: _____

Ing. _____

Editor
Revista *Energía Mecánica Innovación y Futuro* ISSN 1390 – 7395
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Latacunga

****nombre***, titular del documento de identidad número *****, postuló el artículo titulado _____ para su publicación en la revista *Energía Mecánica Innovación y Futuro* ISSN 1390 – 7395 .*

Con respecto a dicho artículo, declaro que es original e inédito, de la exclusiva autoría de los remitentes, y que no está en proceso de publicación por ningún otro medio; asimismo, me comprometo a no presentarlo para tales fines mientras dure el proceso de evaluación de la revista y previo a su publicación si fuera aceptado.

Dicho artículo se ajusta tanto a las POLÍTICAS EDITORIALES, como a la DECLARACIÓN DE ÉTICA de la publicación, las cuales conozco y acepto. A su vez, la totalidad de las citas, transcripciones y paráfrasis se encuentran referenciadas de conformidad con las exigencias que al respecto establece la GUÍA PARA AUTORES. En relación con el contenido, asumo la responsabilidad de todas las opiniones y los resultados.

Cordialmente,

****Nombre****

Autor 1

*<título académico>
<número del documento de identificación>
<institución o filial>
<e-mail>
<teléfonos>*

****Nombre****

Autor 2

*<título académico>
<número del documento de identificación>
<institución o filial>
<e-mail>
<teléfonos>*

APLICACIÓN DEL MODELO DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS COMPLETAMENTE AL AZAR PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES EN CASOS PRÁCTICOS DE INGENIERÍA

APPLICATION OF THE COMPLETE RANDOM EXPERIMENTAL DESIGN MODEL FOR THE ANALYSIS AND DECISION MAKING IN PRACTICAL ENGINEERING CASES

Eliana Elizabeth Morillo Taco¹, César Sebastián Silva Proaño²

¹Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Becaria Universidades de Excelencia por la Secretaria de Educación Superior, Ciencia Tecnología e Innovación de la República del Ecuador SENESCYT, Universidad de Buenos Aires UBA. Aires

²Escuela Politécnica Nacional, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Universidad Técnica de Hamburgo, Inspector de Calidad Airbus – DB Schenker

e-mail : ¹elianamorillo@gmail.com , ²sebas.silva.p@gmail.com

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 1 (10)

Resumen

El presente artículo tiene el objetivo principal de aplicar la teoría del diseño experimental para analizar un caso de estudio típico en la industria, la comprobación de hipótesis para la toma de decisiones. Se utiliza el modelo de diseño de experimentos completamente al azar, la teoría de probabilidad y estadística, y el análisis de varianza o ANOVA para este fin.

Se ahonda en primer lugar en la teoría de probabilidad y estadística necesaria para entendimiento de los cálculos numéricos. También se exponen los modelos de diseño experimental que existen y se da énfasis especial al modelo experimental completamente al azar, que es la base del desarrollo del presente artículo.

Se presenta un caso de estudio típico en la industria y se procede a su análisis a través del modelo experimental y la posterior toma de decisiones. Finalmente, el entendimiento del método aquí mostrado puede conllevar a su aplicación en diversos entornos y casos dentro de la industria.

Palabras Clave: Estadística, Diseño de Experimentos, valor-p, ANOVA, Varianza.

Abstract

The present article has the principal objective of applying the theory of the experimental design for analysing a typical study case in the industry, the hypothesis verification in order to make a decision. The random experimental design, the theory of statistics and probability, and the variance analysis or ANOVA are used for this purpose.

First of all, the necessary theory of probability and statistics is shown for the consequent understanding of the numerical calculations. Additionally, the experimental design models are presented in general and a special emphasis is given to the random experimental model, which is the base of the present article.

A typical industrial case of study is presented, and its analysis is made with an experimental model for the consequent decision making. Finally, the understanding of the method presented here can develop the application of this study in several environments and cases into the industry.

Keywords: Statistics, Experiments Design, p-value, ANOVA, Variance.

1. Introducción

El diseño estadístico de experimentos abreviado al castellano como DEE o DDE se basa en la realización de pruebas que permitan establecer evidencias objetivas que aclaren y clarifiquen aspectos inciertos de un proceso, resolver problemas dentro de este y conseguir mejoras. Las evidencias objetivas son el resultado de un análisis estadístico. [1]

Básicamente el diseño de experimentos consiste en la aplicación del método científico con el fin de proporcionar información o conocimiento respecto a un proceso o un sistema, a través de pruebas o “tests” que han sido previamente planificados. Debido a esto el diseño de experimentos utiliza básicamente la ingeniería y la estadística con objeto de entender las situaciones más complejas de la relación causa-efecto. [1]

Es necesaria en primera instancia la definición correcta de lo que es un proceso. Un proceso se define como la secuencia de pasos a seguir con un carácter lógico, con el fin de obtener un resultado específico. En un proceso se tiene una entrada y una salida. En la entrada tenemos dos tipos de factores: factores controlables y factores no controlables; mientras que en la salida se tienen variables de respuesta o características de calidad, ver Figura 1. [2]



Figura 1. Definición de Proceso

Una variable se define como la característica de un objeto de estudio que puede ser sometida a observación, medición y análisis con el fin de determinar una respuesta a un problema. Las variables dentro del estudio experimental se clasifican en: [3]

- Variables independientes: Son aquellas que tienen

una influencia directa sobre la característica o fenómeno que se está tratando.

- Variables dependientes: Son medidas en cada repetición del experimento con el fin de verificar si las variables independientes tienen una influencia directa en su valor.
- Variables extrañas: Son aquellas variables que no se pueden variar, pero que tienen una influencia sobre la variable dependiente. También se las considera como error experimental o ruido.
- Variables de bloqueo: Estas intervienen en la respuesta de una variable dependiente y tienen la capacidad de eliminar su influencia al momento que les asigna el valor de una constante.

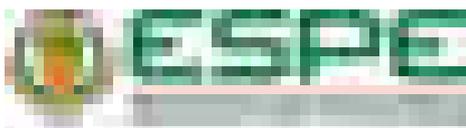
Es importante también definir la “Unidad Experimental”. Se define como la unidad más pequeña mediante la cual se puede obtener una medida o característica. Por ejemplo, para un investigador en general puede ser de interés: las familias, las personas, las empresas de un cierto tipo, etc. [4]

Los niveles dentro del estudio experimental se definen como todos los valores que puede tener el factor a estudiar. Como característica general, los valores deben en primer lugar poder ser medidos y en segundo lugar deben ser discretos o continuos. [5]

Un tratamiento es en sí cada una de las pruebas o ensayos que se realizan en el diseño experimental, y que contiene a los factores en un determinado nivel. Cuando un tratamiento puede ser probado más de una vez, a esto se le denomina réplicas o repeticiones. También cuando al menos un nivel en un factor es cambiado, se tiene entonces otro tratamiento diferente puesto que ya se ha cambiado una condición de los factores. [2]

La aleatorización se define como una técnica usada para conseguir un equilibrio del efecto de las condiciones externas o no controlables, las cuales pueden influir en los resultados de un experimento. [6]

La prueba ANOVA, término que proviene del inglés “Analysis of Variance” traducido al español como análisis de varianza es un test estadístico que permite determinar si los resultados de una encuesta o experimento son significantes o relevantes. En resumen y básicamente una prueba ANOVA concluye de manera cuantitativa si se deben rechazar hipótesis nulas planteadas para un experimento, o caso contrario, se deben plantear y aceptar hipótesis alternativas. [7]



Revisados de manera general los conceptos más relevantes en el diseño experimental, es ahora importante citar los pasos para una correcta planeación y realización del proceso experimental. La realización, por etapas de las diferentes actividades del proceso experimental garantiza el éxito de este estudio. Estas etapas se definen a continuación:

- a) En primer lugar, se debe entender, comprender y delimitar el objeto de estudio o problema. Este primer paso conlleva investigaciones preliminares que ayudan a entender el objeto de estudio, para de esta manera tener claro qué es lo que se va a estudiar, por qué es importante su estudio, y en caso de ser un problema, cuál es la magnitud del mismo.
- b) En segundo lugar, las variables de respuesta deben ser seleccionadas y además se debe verificar que su medición es confiable. La correcta selección de estas variables garantiza el resultado de las pruebas. En otras palabras, los elementos y/o métodos de medición deben tener la precisión y exactitud necesaria para evitar errores.
- c) En tercer lugar, se debe determinar los factores de estudio que se deben investigar tomando en cuenta la posible influencia sobre la respuesta del proceso.
- d) Determinados los factores, se deben seleccionar ahora los niveles de cada uno de estos factores, y también el diseño experimental más adecuado con respecto a los factores determinados y el objetivo del experimento.
- e) Planeación y organización del trabajo experimental.
- f) Finalmente se realiza la ejecución del experimento.

Explicado esto, se debe ahora determinar cuál es el diseño experimental más adecuado, de acuerdo al objetivo o proyecto a realizar.

En primera instancia es necesario citar los 5 aspectos más importantes que influyen de una manera directa en el proceso de selección de un diseño experimental:

- Se debe determinar cuál es el objetivo, o

qué es lo que se desea obtener por medio del experimento.

- Cuántos factores de estudio existen.
- Determinar el número de niveles que son puestos a prueba en cada uno de los factores.
- Qué efectos son de interés para la investigación (cuál es la relación entre los factores y la respuesta).
- Finalmente se debe determinar el costo del experimento, el tiempo disponible para llevarlo a cabo y la precisión requerida para la ejecución del mismo.

Dicho todo esto se puede clasificar a los diseños experimentales de la siguiente manera:

- a) Diseño experimental para la comparación de 2 o más tratamientos.
- b) Diseño experimental para el estudio del efecto de varios factores en las respuestas.
- c) Diseño experimental para obtener el punto óptimo en el cual opera un proceso.
- d) Diseño experimental para la optimización de una mezcla.
- e) Diseño experimental con el fin de que un proceso o producto sea insensible a factores que no se pueden controlar.

En base a esto y los estudios realizados detrás de la teoría del diseño experimental se tienen los diseños estadísticos de procesos como muestra la Figura 2.



Figura 2. Clasificación teórica de los diseños de experimentos

Dentro del estudio y análisis del diseño experimental se debe también definir la teoría de las distribuciones de probabilidad

En el margen conceptual de la probabilidad y estadística se define a la distribución de probabilidad de una variable de tipo aleatorio como una función que asigna a cada suceso de la variable, la probabilidad de que este suceso se lleve a cabo,

Se lo representa ya sea a través de una fórmula o por una función.

Consecuentemente, la distribución de probabilidad contradice lo aleatorio como un suceso del cual no se tiene control alguno, y asigna un valor estadístico muestral, con el cual se puede afirmar o negar hipótesis e incluso realizar estimaciones de tipo poblacional.

Para el análisis de intervalos de confianza y pruebas de hipótesis existen 4 distribuciones de probabilidad que son de gran utilidad dentro del análisis experimental, ver Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

- Normal



Figura 3. Distribución Normal

- T de Student



Figura 4. Distribución T de Student

- JI-Cuadrada



Figura 5. Distribución JI-Cuadrada

- F



Figura 6. Distribución F

Para el caso de las distribuciones T de Student, JI-Cuadrada y F, estas distribuciones se definen completamente por medio de parámetros denominados grados de libertad que están relacionados con los tamaños de muestra concernientes al estudio.

La T de Student se aproxima a una distribución normal estándar cuando la muestra aumenta de tamaño. Con un tamaño de muestra mayor a 45 la T de Student y la distribución normal son las mismas.

Cada una de estas 4 distribuciones tienen un papel fundamental en el diseño experimental:

- T de Student y distribución normal: Se utilizan más para inferir sobre el valor de la media aritmética.
- JI-Cuadrada: Para inferir sobre el valor de la varianza.
- F: Para realizar comparaciones en los valores

de la varianza.

En el estudio experimental la distribución F es la que juega un papel más relevante puesto que el estudio de la variabilidad de un experimento se realiza al comparar los valores de varianza.

Dentro de la estadística, al momento de realizar una estimación de un parámetro, se puede también determinar el nivel de precisión de esta estimación por medio de un intervalo de confianza, el cual básicamente va a determinar de dónde a dónde se puede encontrar este parámetro.

De esta manera para un parámetro desconocido θ , la probabilidad porcentual de que este se encuentre en el intervalo de dos números estadísticos L y U es de $100(1-\alpha)\%$. En términos de probabilidad se enuncia de la siguiente manera:

$$P(L \leq \theta \leq U) = 1 - \alpha \quad \text{Ec. 1}$$

A continuación, se presenta de manera más detallado un estudio teórico del concepto de ANOVA o Análisis de Varianza, en términos generales.

Mediante la inferencia estadística, se pueden comparar dos tratamientos o condiciones (Figura 7). Cuando se desea comparar varios tratamientos de manera sistemática, se debe utilizar el ANOVA. El ANOVA se utiliza ya sea para el estudio de uno o más factores por lo que su estudio se divide en ANOVA para 1 factor y ANOVA factorial. [7]



Figura 7. Definición de ANOVA

Se define ahora lo que son los “factores de bloque”.

Los factores de bloque son aquellos que intervienen si bien es cierto y de alguna manera en el experimento que se realiza, pero no es de interés el estudiarlos. Por lo tanto, se los puede definir como factores de carácter “secundario”. Sin embargo, es importante el considerarlos porque su influencia es innegable. Al momento que se los toma en cuenta dentro del experimento, se está estableciendo un control

sobre ellos, por tanto, se los fija en distintos niveles conocidos, y con esto se puede evaluar su efecto. [8]

El diseño experimental para 1 factor comprende 4 tipos básicos de diseño: [1]

- Diseño Completamente al Azar DCA: 0 bloques.
- Diseño en Bloques Completos al Azar DBCA: 1 bloque.
- Diseño en Cuadro Latino: 2 bloques.
- Diseño en Cuadro Greco-Latino: 3 bloques.

En el modelo estadístico para el diseño experimental la variable estadística se encuentra determinada de la siguiente manera: [1]

$$Y = \mu + \tau + \varepsilon \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- Y es la variable de salida.
- μ es la media estadística.
- τ es el efecto o error del tratamiento.
- ε es el error aleatorio.

Por tanto, la respuesta está afectada por dos tipos de variabilidad: el efecto del tratamiento y el error aleatorio.

Debido a que la media estadística es igual para todos los tratamientos y el error aleatorio debe ser el mínimo posible, el término de interés para el análisis en el Diseño de Experimentos es el efecto del tratamiento. Este efecto de tratamiento se puede dividir en varios términos en relación al número de bloques. En caso de que exista un cambio en el valor de la variable de salida, se espera entonces que este cambio sea debido al efecto de tratamiento. [1]

El modelo estadístico planteado no toma en consideración la interacción que existe entre los bloques, interacción que en la práctica suele ser pequeño y debido a esto el modelo se ajusta de manera adecuada a la práctica.

Definidos todos estos conceptos, el enfoque es ahora en el diseño experimental base de este artículo, el Diseño Completamente al Azar abreviado con las siglas DCA.

El estudio de este artículo se centra en el diseño completamente al azar como una herramienta de gran eficiencia para la toma de decisiones dentro de la vida

ingenieril.

Este diseño experimental es sin duda uno de los modelos más simples debido a que para su análisis interviene solamente un factor sin bloques.

Los niveles de este único factor son puestos a prueba considerando un orden aleatorio para este propósito.

La recomendación más importante a tomar en cuenta es de no usar este método experimental cuando se tiene indicios de que otros factores están interactuando en el proceso.

Una vez que se pone a correr los tratamientos, el análisis ANOVA debe ser llevado a cabo con el fin de probar las hipótesis.

La hipótesis nula, base de este modelo es que la media estadística de todos los tratamientos es la misma, suponiendo que las varianzas obtenidas son iguales. También se debe considerar que existe un balance en el experimento cuando existe el mismo número de repeticiones en cada tratamiento (simbolizando el número de repeticiones como n).

- $n = 10$ en caso de que la dispersión sea mayor a 1.5 sigmas.
- $n = 30$ en caso de que la dispersión sea menor a 0.7 sigmas.

El modelo que se plantea para este tratamiento es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \tag{Ec. 3}$$

En este caso el efecto del tratamiento es el que mueve a la media aritmética de cada experimento con respecto a la media global.

$$\tau_i = \mu_i - \mu \tag{Ec. 4}$$

Tomando en cuenta el número de elementos que se van a medir, se tienen dos consideraciones:

- Cuando el número de elementos a medir es escaso se toma como consideración el universo.
- En caso de que el número de elementos a medir sean demasiados, es necesario tomar una muestra y se tiene por tanto un modelo de efectos aleatorios.

Ahora es necesario una vez retomar el concepto del ANOVA, pero esta vez enfocado al análisis experimental completamente al azar.

Como se ha mencionado y enfatizado anteriormente el análisis de la varianza también denominado ANOVA es la técnica central mediante la cual se realiza el análisis de los datos experimentales.

El objetivo principal del ANOVA es el de separar la variación total en cada una de las partes con las que se consolida cada fuente de variación dentro del experimento de estudio.

Como se explicó anteriormente en el caso del diseño completamente al azar se deben separar la variabilidad debida a los tratamientos y la variabilidad debida al error.

En el caso de que la variabilidad debido a los tratamientos predomine de una manera “contundente” sobre la variabilidad debida al error, se concluye entonces que los tratamientos tienen efecto o, en otras palabras, las medias son diferentes, como se evidencia en la Figura 8.

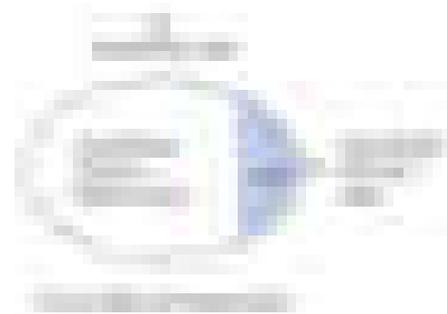


Figura 8. Variabilidad debido a los tratamientos predomina sobre la variabilidad debido al error

En el caso opuesto de que los tratamientos no tengan un dominio claro en el experimento, es decir, estos contribuyen igual o menos que el error, se puede concluir que las medias son iguales, ver Figura 9.

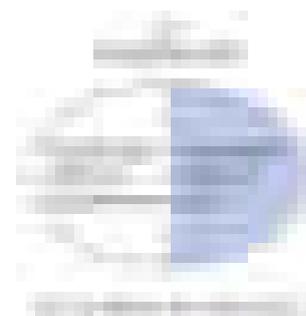


Figura 9. Variabilidad debido a los tratamientos NO predomina sobre la variabilidad debido al error

Los efectos de los tratamientos dentro del diseño completamente al azar se muestran en la Figura 10:



Figura 10. Representación gráfica de los efectos de los tratamientos en un diseño completamente al azar

Se presenta ahora el análisis cuantitativo de los conceptos estadísticos para el desarrollo del análisis de varianza en el diseño experimental completamente al azar. [9]

Donde:

- k = número de tratamientos

$$N = \sum_{i=1}^{n_i} n_i$$

Es el número total de observaciones N o también llamadas mediciones donde n_i es el componente individual de cada observación.

- $Y_{i\cdot}$

Se define como la suma de las observaciones de un tratamiento en específico i .

- $\bar{Y}_{i\cdot}$

Es la media aritmética de las observaciones efectuadas para el tratamiento i -ésimo.

- $Y_{\cdot\cdot}$

Es la suma total de las $N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ mediciones u observaciones realizadas para todos los tratamientos.

- $\bar{Y}_{\cdot\cdot}$

Se define como la media global o promedio de todas las observaciones realizadas en el estudio experimental.

- α

Alfa es el nivel de significancia dentro del estudio de estadística y probabilidad. Básicamente, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. En este artículo se va a utilizar el valor de 0,05 o 5% que significa que existe un 5% de concluir el rechazo de una hipótesis. [10]

- *valor p*

El valor-p es la probabilidad de tener un efecto de significancia tan extrema como los datos de la muestra, cuando se asume la veracidad de la hipótesis nula. [10]

El objetivo principal en el Diseño Completamente al Azar es el de probar la llamada hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media aritmética de la variable de respuesta:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_A : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

Ec. 5

De una manera equivalente se puede escribir las anteriores relaciones de la siguiente manera:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0$$

$$H_A : \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

Ec. 6

Donde:

τ_i se define como el efecto del tratamiento i que existe sobre la variable de respuesta.

En el momento que se acepta H_0 entonces se confirma que el efecto en la respuesta de los k tratamientos existentes es nulo o igual a cero. En el caso opuesto que se rechaza esta hipótesis, entonces se concluye que al menos uno de los efectos es diferente a cero.

Para la comprobación de la hipótesis se utiliza justamente el ANOVA, para lo cual se debe descomponer en primer lugar la variabilidad total de los datos en dos componentes:

- La variabilidad existente debida a los tratamientos.
- La variabilidad correspondiente al error aleatorio.

Ec. 11

La medida de la variabilidad se representa a través la suma total de los cuadrados.

Considerando esto se definen las siguientes medidas de variabilidad: [11]

$$SC_T = SC_{TRAT} + SC_E \tag{Ec. 7}$$

$$SC_T = \sum_{i=1}^k n_i \left(\bar{Y}_{i\cdot} - \bar{Y}_{\cdot\cdot} \right)^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \left(Y_{ij} - \bar{Y}_{i\cdot} \right)^2 \tag{Ec. 8}$$

Donde:

- SC_T es la suma de cuadrados total
- SC_{TRAT} es la suma de cuadrados de los tratamientos
- SC_E es la suma de cuadrados del error

Y los grados de libertad:

- SC_T tiene $N - 1$ grados de libertad.
- SC_{TRAT} relacionado con el número de tratamientos k tiene entonces $k - 1$ grados de libertad.
- SC_E tiene $N - k$ grados de libertad.

Los cuadrados medios se definen como las sumas de lo cuadrados divididas para sus correspondientes grados de libertad. Por tanto, se tienen dos casos en concreto:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1} \tag{Ec. 9}$$

y

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - k} \tag{Ec. 10}$$

Adicionalmente, se conceptualizan los valores esperados para los cuadrados medios, donde de igual manera se tiene uno para el caso los tratamientos y otro para el error:

$$E(CM_E) = \sigma^2$$

$$E(CM_{TRAT}) = \sigma^2 + \frac{\sum_{i=1}^k n_i \tau_i^2}{N - k} \tag{Ec. 12}$$

Por medio de estas expresiones se puede confirmar que cuando la hipótesis nula es verdadera, entonces, ambos cuadrados medios estiman la varianza o σ^2

Tomando entonces en consideración la veracidad de la hipótesis H_0 se define el estadístico F_0 como:

$$F_0 = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E} \tag{Ec. 13}$$

Este estadístico sigue una distribución F con grados de libertad $k - 1$ en el numerador y con $N - k$ en el denominador.

Se puede con esto concluir que:

- Si F_0 es grande, la hipótesis base de que no hay efectos en los tratamientos se contradice, por otro lado,
- Si F_0 es pequeño se confirma de esta manera la validez de la hipótesis principal H_0

Considerando entonces un nivel de significancia α prefijado, se puede rechazar H_0 cuando $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$

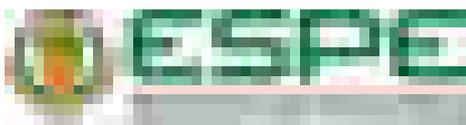
$F_{\alpha, k-1, N-k}$ es el percentil $(1 - \alpha) \times 100$ de la distribución F .

Se rechaza también la hipótesis nula H_0 en el momento que el *valor - p* $< \alpha$, donde el *valor - p* no es sino el área debajo de la distribución $F_{\alpha, k-1, N-k}$ que se encuentra a la derecha del estadístico F_0 .

Por tanto:

$$\text{valor} - p = P(F > F_0) \tag{Ec. 14}$$

Un ejemplo práctico de esto, es cuando en una industria se tienen 4 tipos diferentes de máquinas que realizan el mismo producto. El tipo de máquina viene a ser en este caso el tratamiento. Se realiza



aleatoriamente mediciones del tiempo que se demora cada máquina para realizar el producto. Cada medición es una observación.

El experimento a plantear aquí es el siguiente: ¿Existe una influencia del tipo de máquina para la realización del producto?

En caso de que no, entonces los tiempos promedio de los 4 tipos de máquina deben ser estadísticamente iguales, o en otras palabras, la siguiente hipótesis:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0$$

Es verdadera, y no se rechaza

En caso de que si, se concluye que al menos dos de los tiempos promedios son estadísticamente diferentes uno del otro y la hipótesis planteada se rechaza o es falsa.

Este es justamente el objetivo principal que se plantea con el ANOVA en el Diseño Completamente al Azar.

En caso de que se rechace la hipótesis, se sabe entonces que existe una máquina que produce de manera diferente a las otras 4, pero estadísticamente, esto también se lo puede comprobar. Con este fin, se puede utilizar la Diferencia Mínima Significativa o LSD. Este método calcula un estadístico que se compara con la diferencia de medias de cada tratamiento. Este estadístico se basa en la distribución T de Student.

$$LSD = t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\frac{2CM_E}{n}}$$

Ec. 15

Donde:

- $t_{\alpha/2, N-k}$ es el valor de la distribución T de Student evaluada los respectivos grados de libertad.
- CM_E es el cuadrado medio del Error.
- N es el número total existente de experimentos realizados.
- k es el número de tratamientos.
- n es el número de réplicas que se realizan por cada tratamiento.

En caso de que la diferencia de medias sea mayor al estadístico LSD, se puede concluir que estadísticamente que la diferencia es SIGNIFICATIVA,

y que este par de tratamientos, o como en este caso del ejemplo práctico, las dos máquinas analizadas, NO SON IGUALES, o actúan de manera diferente en la producción.

Es importante también considerar que el ANOVA realiza la suposición de que la variable de respuesta se distribuye de una manera normal con una varianza constante (esto se debe a que los tratamientos tienen una varianza similar) y también que las mediciones realizadas son independientes unas de otras.

Finalmente, la validez del experimento asume 3 supuestos: normalidad, existencia de varianza constante y por último la independencia.

- La verificación de la normalidad se realiza mediante una gráfica de las observaciones r_i en orden ascendente respecto a su valor normal inverso representado como Z_i . Cuando el gráfico obtenido es una tendencia de línea recta, se puede concluir que se cumple la normalidad.
- El supuesto de varianza constante se comprueba mediante la gráfica de los promedios por nivel versus los residuos. En este caso se debe listar cada una de las observaciones en el orden mediante el cual fueron realizadas, su promedio y el residuo resultante. Cuando la gráfica muestra un patrón o asimetría clara, entonces se puede concluir que la varianza no es constante, caso contrario, lo es.
- Finalmente, el supuesto de independencia es verificable comprobando el orden aleatorio en el cual se realizan los experimentos.

Para finalizar esta introducción teórica se realiza un recuento de las tablas importantes (Tabla 1, 2 y 3) que se utilizan esencialmente en el diseño de experimentos. [12] [13]

Tabla 1. Puntos críticos al 5% de la distribución $F, P(X > x) = 0.05$

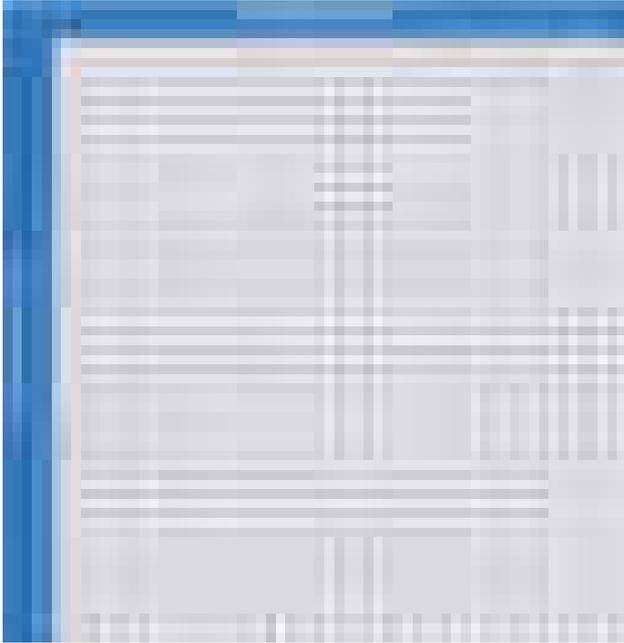
A blurred image of a table with multiple columns and rows, representing the F-distribution critical points at a 5% significance level.

Tabla 2. Puntos críticos al 10% de la distribución $F, P(X > x) = 0.10$

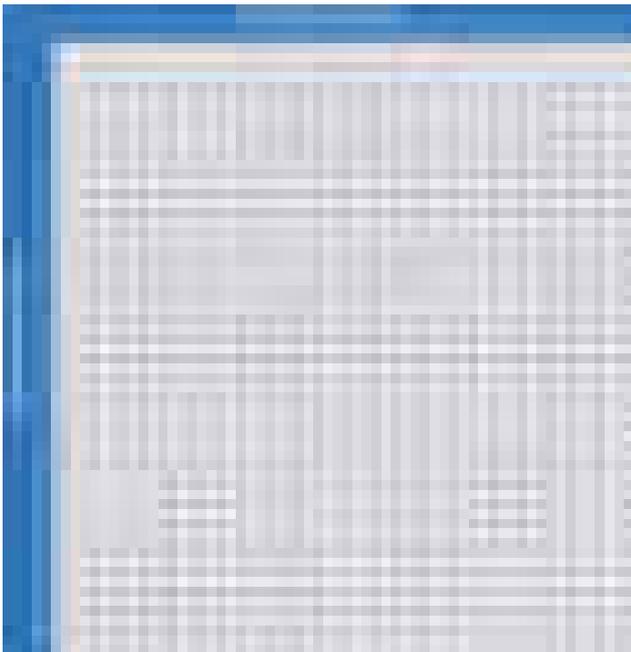
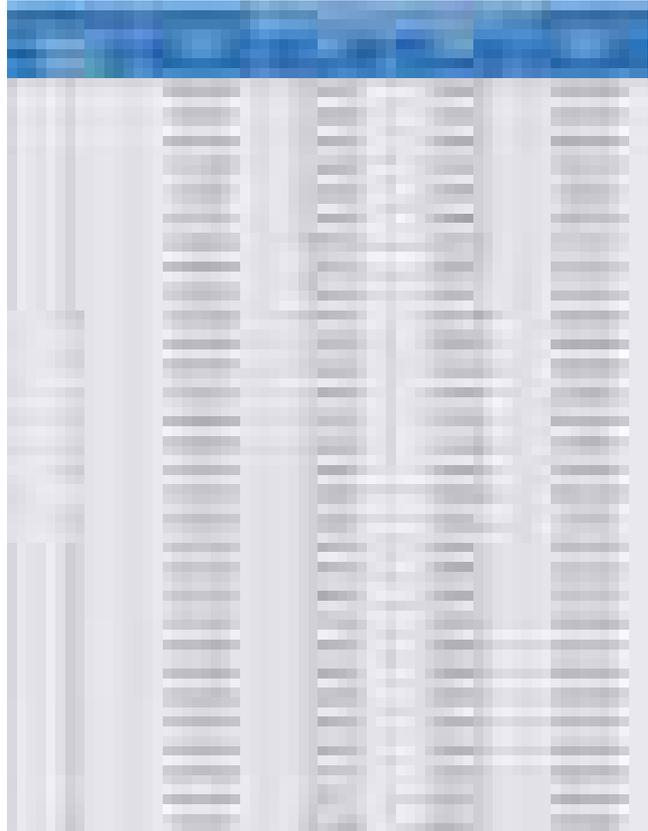
A blurred image of a table with multiple columns and rows, representing the F-distribution critical points at a 10% significance level.

Tabla 3. Puntos críticos para la distribución T de Student

A blurred image of a table with multiple columns and rows, representing the Student's T-distribution critical points.

2. Materiales y Métodos

Se pone a prueba el análisis experimental por medio de un caso de estudio típico de la industria ingenieril.

Se tienen 5 máquinas de producción que fabrican el mismo tipo de producto. Las 5 máquinas son las mismas en cuanto a características y fabricante se refiere. Pero cada máquina efectúa su mantenimiento en un taller o empresa distinta. El de chequeo periódico es el mismo y todos los demás factores alrededor de cada una de las máquinas es el mismo.

La empresa no puede enviar las 5 máquinas al mismo taller debido a las limitaciones de los mismos en la región. Cada taller puede atender a una sola máquina. Cada uno de estos talleres ha sido identificado con las primeras 5 letras del abecedario para facilitar su categorización.

El gerente propietario de la empresa de producción desea averiguar estadísticamente si existe una diferencia entre la operatividad y nivel de producción de cada máquina o caso contrario, las 5 son iguales.

En caso de existir una diferencia, se puede deducir

que el mantenimiento dado a las máquinas de al menos 2 de los talleres no es el mismo.

Se va a medir el tiempo que demora cada máquina en realizar un producto.

Se plantea en primer lugar la identificación de las máquinas, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Presión máxima de las llantas recomendada por el fabricante y tamaño para los 3 tipos de bicicleta

ID	Máquina	Proveedor de Mantenimiento
A	1	Empresa A1
B	2	Empresa B2
C	3	Empresa C3
D	4	Empresa D4
E	5	Empresa E5

Se define en primer lugar la aleatoriedad de las mediciones:

- Se toman 5 mediciones al día del tiempo en minutos que se demora cada máquina en realizar un producto. Se toman los siguientes horarios: 08:00, 11:00, 14:00, 17:00 y 20:00, ver tabla 5.
- Se realiza una medición por máquina al día.
- Las mediciones se realizan durante 5 días.
- Cada día el orden de las mediciones es distinto.

Tabla 5. Diseño de la aleatoriedad de las mediciones

	DÍA				
	1	2	3	4	5
8:00	A	B	C	D	E
11:00	B	A	E	C	D
14:00	C	D	B	E	A
17:00	D	E	A	B	C
20:00	E	C	D	A	B

El resultado de las mediciones se muestra a continuación:

Tabla 6. Resultados de las mediciones / observaciones efectuadas

	Medición en Minutos					PROM
	A	31.53	32.21	30.10	30.14	30.48
B	30.49	30.47	31.12	28.97	29.54	30.12
C	29.58	28.87	30.15	31.01	30.12	29.95
D	31.27	29.35	29.10	30.56	31.11	30.28
E	29.05	30.41	31.01	30.74	28.78	30.00

Finalmente, para la ejecución de este experimento se va a aplicar la teoría del diseño experimental completamente al azar con el fin de averiguar si existe una influencia del lugar donde se realiza el

mantenimiento con respecto al desempeño de las máquinas.

3. Resultados y Discusión

Presentado el cuadro de datos en la sección anterior se presentan los resultados de la ejecución del diseño experimental completamente al azar en esta parte con el fin de obtener conclusiones de este caso de estudio.

En primer lugar, se realiza un recuento de las constantes y variables de cálculo de este diseño.

Tabla 7. Resultados de las mediciones / observaciones efectuadas

alfa	0.05
k	5
N	25
k-1	4
N-k	20

A continuación, se muestra el cuadro resultante de los tratamientos de los datos, el cálculo de la suma por tratamiento, la suma total, el promedio por tratamiento, el promedio global, las desviaciones con respecto a la media global y la varianza.

Tabla 8. Cálculos estadísticos iniciales

Es necesario para los cálculos, determinar los cuadrados de los valores y también la suma total de estos cuadrados. Esto se expone en la tabla 9.

Tabla 9. Cálculo de los cuadrados

Con estos resultados se puede entonces calcular los valores de suma de cuadrados. Como se explicó anteriormente, existen 3 valores: la suma de cuadrados total, la suma de cuadrados de tratamiento y la del error. Con estos valores es posible determinar los cuadrados medios, el valor del estadístico, y el valor-p que describe la tabla 10.

Tabla 10. Resultados preliminares y cálculo de los estadísticos

El estadístico de comparación F se evalúa con los grados de libertad k-1 igual a 4, y N-k igual a 20. Se obtienen las siguientes conclusiones:

$$valor - p < \alpha$$

$$F_0 < F @ 4, 20$$

Como conclusión preliminar y base de este estudio, se puede determinar que no todas las máquinas son iguales, o su desempeño no es el mismo. Es decir, se rechaza la hipótesis nula.

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0$$

Se presenta la tabla 11 con el cálculo de la diferencia mínima significativa.

Tabla 11. Cálculo de la diferencia mínima significativa LSD

Cálculo del LSD con alfa = 0.05	
alfa	0.05
N	25
k	5
SC-error	17.05
n	5
t de Student	2.085963447
LSD	5.447846483

La t de Student fue evaluada con alfa dividido para dos, ó 0.025 y con 25-5 igual a 20 grados de libertad. El valor se puede obtener de la tabla expuesta en la sección anterior.

Obtenido este valor, se puede realizar un cuadro comparativo de la diferencia de medias poblacionales con el valor del LSD. La diferencia se expresa en términos de su valor absoluto, y en caso de ser menor al valor del LSD, entonces, esta diferencia se considera no significativa, tal como evidencia la tabla 12.

Tabla 12. Cuadro comparativo de la diferencia de medias poblacionales con la diferencia mínima significativa LSD

Se presenta también los cálculos de la verificación de la normalidad en las observaciones de la tabla 13.

Tabla 13. Cálculos para la verificación de la normalidad

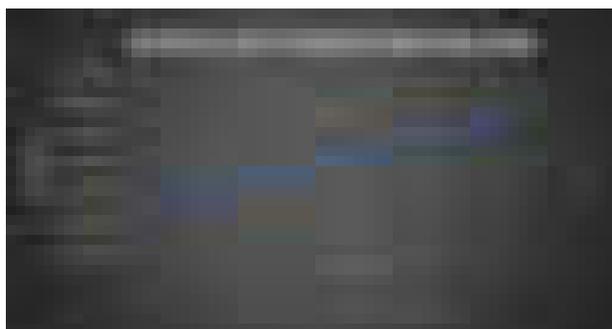


Figura 11. Gráfica de Probabilidad Normal para las observaciones

Finalmente, se presenta el cuadro de cálculo de los residuos con respecto al promedio de los tratamientos.

Tabla 14. Cálculos de Residuos

	1	2	3	4
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00

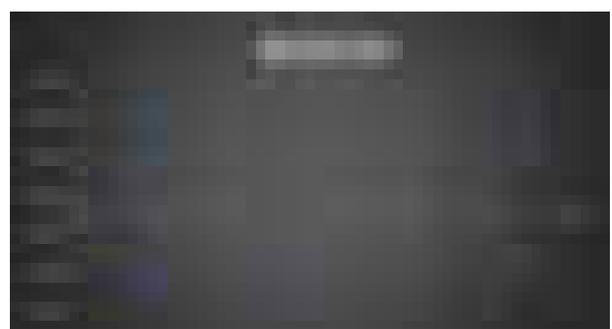


Figura 12. Gráfico comparativo de los residuos

4. Conclusiones

Se puede asegurar de en este caso de estudio la aleatoriedad del proceso experimental. Las mediciones se las tomaron de manera arbitraria sin ningún tipo de preferencia y durante un horario programado.

A primera vista según los cuadros de resultados de las observaciones, se puede sugerir que el tiempo promedio de cada máquina es de 30 minutos aproximadamente. Sin la realización del estudio estadístico aparentemente no existe una diferencia marcada entre cada una de las máquinas.

Las medias muestrales igualmente oscilan en un aproximado de 30 minutos.

La varianza para cada uno de los tratamientos oscila entre 0 y 1 y aparentemente no existe una disparidad entre los datos.

Sin embargo, mediante el cálculo del estadístico y el valor p se concluye finalmente que, aunque aparentemente las diferencias no parecen tan significativas, los tratamientos no son los mismos, y, en otras palabras, el rendimiento u operatividad de todas las máquinas no es el mismo.

La investigación da un paso más adelante con el cálculo de la diferencia mínima significativa. Al comparar la diferencia de medias poblacionales con este valor LSD se puede concluir que si bien es cierto puede existir una diferencia entre los tratamientos, esta no es muy significativa. La mayor diferencia se da entre las máquinas A y C, aunque al ser un valor muy por debajo del LSD no se le puede dar mucha relevancia.

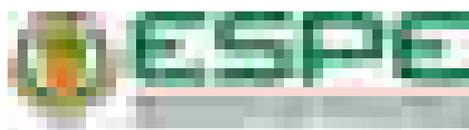
Los supuestos fueron verificados. Por un lado, la aleatoriedad como se indicó previamente ha sido asegurada. En segundo lugar, la normalidad de los datos se puede atestiguar en la gráfica de probabilidad normal donde la línea de tendencia de los datos tiene un coeficiente R cuadrado de 0.97 cercano a 1, lo cual aproxima de gran manera la tendencia de línea recta de esta gráfica, que a su vez asegura la normalidad.

El gráfico de residuos, el tercer supuesto, es expuesto al final. En él se puede observar ningún tipo de patrón extraño o repetitivo, con esto se puede finalmente concluir que la varianza es constante en los tratamientos.

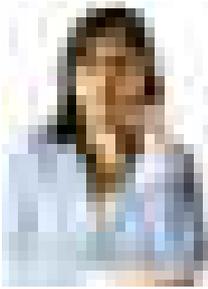
Se define de esta manera el proceso de análisis del experimento. En primer lugar, la preparación del experimento en sí, en segundo lugar, la ejecución para luego realizar el procesamiento de los datos y finalmente la comprobación de los supuestos. De esta manera, se puede finalizar este caso de estudio al exponer que si bien es cierto todas las máquinas no tienen el mismo comportamiento, debido posiblemente al proveedor de mantenimiento de cada una de ellas, la diferencia existente no puede considerarse significativa.

5. Referencias

- [1] H. Gutierrez Pulido y R. Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, vol. Segunda Edición, México: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [2] V. Yépez, «Definiciones básicas del diseño de experimentos,» *Universitat Politècnica de Valencia*, 15 06 2019. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/24/definiciones-basicas-del-diseno-de-experimentos/>.
- [3] Universidad de las Américas Puebla - UDLA, «4. TEORÍA DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS,» *Catarina - UDLA - Puebla*, 20 03 2019. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/florian_m_a/capitulo4.pdf.
- [4] Escolares.net, «Conceptos de Estadística,» *Escolares*, 20 05 2019. [En línea]. Available: <https://www.escolares.net/matematicas/conceptos-de-estadistica/>.
- [5] catarina.udlap, «Capítulo 6: Diseño Experimental,» *Universidad de las Américas Puebla*, 18 04 2019. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/granados_m_d/capitulo6.pdf.
- [6] minitab, «¿Qué es la aleatorización?,» *support.minitab*, 10 03 2019. [En línea]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/basics/what-is-randomization/>.
- [7] StatisticsHowTo, «ANOVA Test: Definition, Types, Examples,» *DataScienceCentral*, 1 02 2019. [En línea]. Available: <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/probability-and-statistics/hypothesis-testing/anova/>.
- [8] A. M. Lara Porras, «Diseño Estadístico de Experimentos,» *Universidad de Granada (España)*, 13 01 2019. [En línea]. Available: <https://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/practica7/Contenidos.pdf>.
- [9] UNAM MX, «Diseño Completamente al Azar,» *DPYE IIMAS*, 10 01 2020. [Online]. Available: http://www.dpye.iimas.unam.mx/patricia/indexer/completamente_al_azar.
- [10] Addlink Software Científico, «Comprendamos las pruebas de hipótesis, niveles de significancia alfa y p valores en estadística,» *addlink*, 30 12 2020. [Online]. Available: <https://www.addlink.es/noticias/minitab/2873-comprendamos-las-pruebas-de-hipotesis-niveles-de-significacion-alfa-y-p-valores-en-estadistica>.
- [11] J. Salinas, «ANOVA Análisis de Varianza,» *UGR ES*, 30 01 2020. [Online]. Available: <https://www.ugr.es/~jsalinas/apuntes/Anova.pdf>.
- [12] Scientific European Federation, «Distribución t Student,» *Osteopaths*, 01 01 2019. [Online]. Available: https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Distribucion_tStudent.pdf. [Accessed 20 02 2020].
- [13] J. A. Mellado Bosque, «Distribución F,» *UAAAN MX*, 15 01 2020. [Online]. Available: <http://www.uaaan.mx/~jmelbos/tablas/distf.pdf>.
- [14] IDEAS, «Image Data Exploration and Analysis Software User's Manual,» *Amnis Corporation*, 01 07 2010. [En línea]. Available: https://med.virginia.edu/flow-cytometry-facility/wp-content/uploads/sites/170/2015/10/Amnis-ImageStream-IDEAS-4_0-Manual.pdf.



6. Biografía



¹Eliana Morillo. – Magíster en Dirección Industrial (Universidad de Buenos Aires), Becaria Universidades de Excelencia 2014 (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador), Ingeniera Automotriz (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE).



²Sebastián Silva. – Master of Science in Mechatronics (Technische Universität Hamburg – Harburg), Máster en Administración de Empresas (MBA) con mención en Calidad y Productividad (Pontificia Universidad Católica del Ecuador), Ingeniero Mecánico (Escuela Politécnica Nacional). Inspector de calidad de partes de aviones y equipo de soporte en tierra Airbus con la empresa DB Schenker en Hamburgo, Alemania.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN	
Fecha recepción	13 marzo 2020
Fecha aceptación	13 mayo 2020

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EXPERIMENTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE HARDWARE ESPECÍFICO

AUTOMATION SYSTEM FOR EXPERIMENTS ON THE THERMAL BEHAVIOR OF SPECIFIC HARDWARE

Alex Santana G.¹, Mauricio Naranjo E.², Luis Santana A.³, María Oñate P.³, Pedro Malagón M.⁴

¹IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C., - Latacunga-Ecuador

²Unidad Educativa Primero de Abril - Latacunga-Ecuador

³Instituto Superior Tecnológico Baños - Baños-Ecuador

⁴Universidad Politécnica de Madrid, ETSIT - Madrid-España

e-mail : ¹amsantanagallos@gmail.com , ²naermaxa@gmail.com , ³fersantana63@hotmail.com , ⁴fersitaonate@gmail.com , ⁵malagon@die.upm.es

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 2 (10)

Resumen

En este trabajo se plantea la creación de un sistema para la realización de experimentos de caracterización, en un sistema de refrigeración de una aplicación concreta.

Se divide el sistema en tres bloques y se centra en en: El módulo de ejecución y control del experimento. Las tareas necesarias para completar este módulo son la realización del PCB en un nodo de caracterización flexible, con un elemento irradiador de calor y elementos sensores prototipo de irradiador de calor, controlable por el protocolo de comunicación I2C, la red de nodos necesaria para un experimento junto con el análisis de limitaciones térmicas, el software de control del experimento que se comunica con los nodos de caracterización para generar un perfil de disipación térmica y así obtener los datos de los sensores de temperatura.

Palabras Clave: Internet en la nube, Internet de las cosas, temperatura, Potencia, Microcontrolador.

Abstract

This paper presents a system for performing experiments to model cooling system, in concrete applications.

The system is divided in three blocks, and this work is focused on the experiment execution and control block. There are three tasks within this block: First, the development of a flexible PCB device to generate controlled heat and monitor temperatures, controllable through an I2C interface. Second, the definition and evaluation of a communication protocol between a controller and each of the PCB devices, structured in a tree-based network. Third, the design and implementation of the experiment control software.

Keywords: Cloud Computing, Edge Computing, Temperature, Power, Microcontroller.

1. Introducción

El desarrollo de dispositivos conectados a Internet está aumentando de forma exponencial en los últimos años. [1] Estos dispositivos forman sistemas locales de control que, en general, tienen baja capacidad de cómputo. El paradigma predominante actualmente para implementar aplicaciones es la computación en la nube (“Cloud Computing”). [1] [2] El grueso de los datos se envía a grandes centros de procesamiento de datos (CPD), donde los datos son almacenados y procesados, de forma conjunta los datos de los distintos sensores, por las distintas aplicaciones desplegadas. Los servidores ejecutan múltiples aplicaciones de forma simultánea, compartiendo los recursos disponibles, y se generan las respuestas que se envían a los actuadores locales disponibles en los dispositivos conectados a Internet. [3]

La computación en la nube presenta grandes ventajas, como son la reducción de costes de despliegue de infraestructura y de mantenimiento, debido en parte a la centralización y la alta tasa de utilización de infraestructura. [3] [4] Los despliegues de aplicaciones en la nube son más flexibles, tanto para escalar en el número de peticiones, usuarios o datos, que requiere un aumento de los recursos contratados. Además, los grandes CPD se sitúan en entornos favorables desde el punto de vista del consumo energético, tanto por el coste de la energía como por la capacidad de refrigeración pasiva. [5] [6]

Pese a las ventajas, han surgido algunos inconvenientes, relacionados con la eficiencia en las comunicaciones. [7] Por un lado, el aumento del volumen de datos transmitido tanto hacia el centro de datos como desde él, especialmente con el aumento del tráfico multimedia, produce saturaciones en la red de comunicaciones, que en algunos casos no son necesarias, ya que son datos locales que se procesan en lugares remotos. [7] [8] [9] Por otro lado, algunas aplicaciones imponen unos requisitos de latencia en la respuesta que no se pueden garantizar cuando los datos se envían a CPD lejanos. Nuevos paradigmas de despliegue de aplicaciones basadas en dispositivos conectados a Internet se están desarrollando. [10]

Este proyecto describe el diseño de un sistema para la automatización de experimentos sobre el comportamiento térmico del hidrofluoroéter. Se trata de un material dieléctrico no conductor, líquido a temperatura ambiente, y con un punto de ebullición alrededor de 62°C. El sistema de refrigeración

planteado en la Figura 1 consiste en la extracción del calor de los puntos calientes de los servidores de forma pasiva por el cambio de estado de líquido a gaseoso, que genera burbujas que ascienden hasta alcanzar un condensador externo. Para que esta tecnología sea sostenible económicamente es necesario caracterizar el comportamiento térmico, de manera que se pueda optimizar la densidad de cómputo garantizando un rango de temperatura adecuado en los componentes electrónicos. [9] [10] [11]

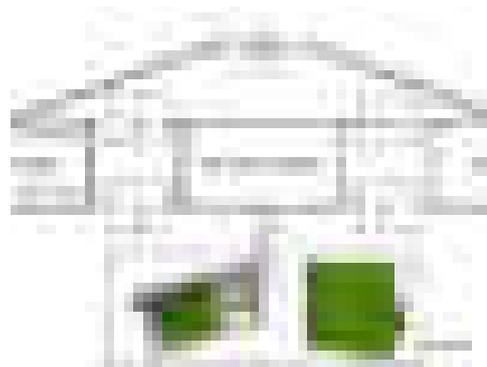


Figura 1 Definición de Proceso

1.1. Casos de uso

Se plantean dos experimentos futuros que van a utilizar el sistema que se plantea en este proyecto. Ambos experimentos se dan en un escenario similar, en un tanque de inmersión en líquido de características específicas, utilizando un armazón o estructura metálica para sujetar los elementos de computación, con unas dimensiones de 60cm de largo, 8 cm de ancho y 19 cm de alto.

El objetivo del primer experimento es caracterizar el comportamiento térmico de un *cluster* de GPU sumergidos en un líquido de características específicas. Las GPU propuestas son 18 AMD SapphirePulse Radeon RX 580. [11] [12] A estas GPU se les extraen los componentes móviles (ventiladores) y los grandes disipadores, reduciendo su volumen a la mitad. Antes de utilizar las GPU reales, se plantea utilizar el sistema de caracterización para modelar y estudiar el efecto de los perfiles de disipación de calor similares a los que tengan las GPU procesando vídeo asociado a una aplicación de las que se plantean en *Edge Computing*, como puede ser la conducción autónoma. [13] [14] El número de dispositivos necesarios para modelar cada una de las GPU, por superficie y potencia, es de 4 elementos, por lo que son necesarios 72 nodos calefactores en el experimento. [15] [16]

El objetivo del segundo experimento es caracterizar el comportamiento térmico de un sistema de computación con una densidad de potencia superior a 1MW/m³, utilizando el mismo tanque y el mismo armazón metálico. Considerando un volumen del tanque de 16,25dm³, la potencia máxima disipada en el escenario tiene que ser de 16,26kW. El número de elementos presente en el sistema depende de la potencia máxima que se plantee en el nodo de caracterización. Como requisito nos planteamos una potencia máxima disipada de 110W en los nodos, por lo que el número de nodos necesarios en este escenario será de 148 nodos de caracterización.

1.2. Requisitos

Los requisitos del nodo de caracterización (tarjeta electrónica) son:

1. Dimensiones compatibles con un armazón existente de dimensiones 60cmx8cmx19cm.
2. Compatible tanto con fuente de alimentación DC de 12V como de 48V.
3. Identificador de cada nodo imprimible, para facilitar su manejo y configuración.
4. Reducción del número de cables necesarios para la interconexión de múltiples nodos.
5. Disipación de potencia regulable con un máximo que permita una densidad de potencia superior a 1MW/m³. Planteamos 110W.
6. Disipación térmica centrada en el elemento calefactor, no en la electrónica de control.
7. Ausencia de obstáculos (elementos sobresalientes) para las burbujas generadas alrededor del elemento calefactor en la trayectoria vertical.

Los requisitos del módulo de ejecución y control son:

1. Especificación de secuencias de potencias disipadas
2. Especificación de muestreos periódicos de temperatura
3. Generación de mensajes I2C a partir de los datos de entrada y envío en el instante adecuado al nodo de caracterización correspondiente.

2. Materiales y Métodos

Los distintos módulos se comunican a través de ficheros o a través de un API establecida. Actualmente, se establece que el módulo de

configuración genera dos ficheros con formato JSON para definir un experimento: el fichero “events.json”, con los eventos puntuales, asociados a los cambios en el valor de potencia disipada de un nodo, y el fichero “measure.json”, con los datos de las medidas periódicas que hay que realizar. Además, el módulo de configuración genera otro fichero JSON destinado al módulo de visualización, con los datos de los nodos de caracterización dentro del experimento: identificador y posición X, Y, Z en el sistema. El módulo de ejecución y control genera varios tipos de salidas, siguiendo una interfaz. Sin cambiar la lógica del módulo se puede registrar uno o varios mecanismos de salida, destacando dos: fichero JSON de resultados, con los datos de temperatura medida y potencia disipada, y la conexión UDP con el módulo de visualización, que en los proyectos anteriores.

En este proyecto nos centramos en el módulo de ejecución y control. Hemos diseñado un módulo dividido en un controlador, un software que se ejecuta en un dispositivo cercano al tanque de inmersión, con conexión I2C y Sistema Operativo (para facilitar su desarrollo y la conexión con el resto de módulos), y una red de nodos de caracterización conectadas entre sí por buses I2C, con un microcontrolador de coste reducido, los sensores de temperatura, el generador de calor y varios conectores para permitir la reprogramación de su firmware como la interconexión entre ellos, para formar la red.

2.1. Nodos de caracterización

Se desarrolló un sistema compuesto por unidades distintas basadas en un microcontrolador que denominamos nodos de caracterización. Cada nodo de caracterización tiene unas dimensiones reducidas, para poder implementar sistemas grandes mediante la unión de múltiples nodos de caracterización de manera flexible, mostrado en la Figura 2. Cada nodo tiene dos interfaces de comunicación: una esclava, para comunicarse con el controlador, y otra maestra, para comunicarse con los sensores de temperatura, otros sensores que se puedan conectar en un futuro, y con otros sensores que estén por debajo en la jerarquía de red. El controlador, además de las comunicaciones, controla la potencia disipada en un elemento calefactor, según se haya configurado por I2C, y monitoriza el valor de temperatura, para enviarlo al controlador bajo petición.

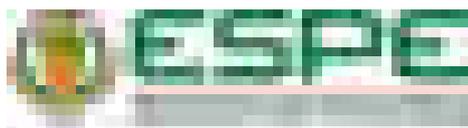




Figura 2 Arquitectura propuesta para el PCB del sistema.

El sistema está formado por un conglomerado de PCB's cuya unidad de alimentación puede variar entre los 48V, 24V y 12V. En los experimentos previstos la alimentación se distribuye mediante un busbar, formado por dos barras de cobre fijas en el tanque de inmersión, al que se conectaron unos cables que se conectarán a los nodos de caracterización, atornillados a la placa. La conexión de las líneas de alimentación se realiza con tornillos y juntas metálicas.

Se plantea un rediseño del PCB que forma el nodo calefactor. El elemento principal del nodo es el conjunto de líneas de cobre para la generación de calor, compuesto por cuatro elementos calefactores. La resistencia individual de cada una de ellas es $5,25\Omega$ y se pueden organizar con múltiples configuraciones: serie, paralelo y mezcla, teniendo todas ellas el mismo comportamiento térmico esperado. La configuración en serie permite aumentar la impedancia, reduciendo la potencia disipada. La configuración en paralelo, permite el aumento de la potencia disipada. Gracias a esta configuración se puede adaptar el nodo de caracterización para disipar 110W, independientemente de la que la tensión de alimentación sea 12V, 24V o 48V. La potencia máxima disipada por cada una de las resistencias en paralelo ($5,25\Omega$ cada una), con una tensión de alimentación de 12V, es de aproximadamente 27,5W, lo que supone un total de 110W. La potencia máxima disipada por las resistencias en serie (21Ω en total), con una tensión de alimentación de 48V, es de aproximadamente 110W.

2.2. Software controlador

La estructura del software del controlador, el cerebro del módulo de ejecución y control del experimento, se plantea mediante la desmultiplexación de eventos sincrónicos, técnica conocida como Reactor, esto indicado en la Figura 3. El módulo obtiene la configuración de los eventos, tanto puntuales como periódicos, de los ficheros de configuración JSON. Los eventos se registran en el Reactor y se inicia el

bucle infinito de gestión y procesado de eventos. Cada evento estará identificado por el identificador del nodo de caracterización relacionado, el instante temporal (o el periodo) y la acción que hay que realizar, con los argumentos necesarios. Cuando la condición temporal de un evento se active producirá bien una de las dos posibles operaciones: operación de lectura a través de I2C (de un registro y cantidad de bytes concreto) o una operación de escritura a través de I2C (de un registro y valor concreto).



Figura 3 Ejemplo del funcionamiento de la estructura reactor del sistema.

3. Resultados y Discusión

3.1. Implementación Hardware PCB

Los nodos del calentador deben ser lo suficientemente flexibles como para simular el comportamiento térmico de muchas aplicaciones diferentes, con diferentes requisitos de tamaño y potencia. Los nodos de calefacción resultantes son pequeños y sus principales requisitos de diseño incluyen consumo controlado de energía (generación de calor), sensores integrados y conectores para interconectar muchos de ellos. La fuente de alimentación del sistema se distribuye mediante una barra de bus, que normalmente se alimenta a 48 VCC, 24 VCC o 12 VCC. Por lo tanto, los nodos experimentales incluyen conectores de entrada y salida para las líneas eléctricas que provienen de la barra colectora.

El tamaño del nodo diseñado es 125,9 x66mm. La generación de calor se ajusta mediante un interruptor de alimentación del lado alto, controlado por un módulo PWM, entre las líneas de alimentación y una resistencia de calentamiento. La resistencia de calentamiento consta de 4 líneas de microchips PCB, sin máscara de soldadura, con un área de 60x14,1 mm cada una y una resistencia de 5.25Ω . Estas líneas de PCB de calefacción se pueden conectar en serie

o en paralelo al montar la PCB. Una barra colectora de 48VCC con una conexión en serie y una barra colectora de 12VCC con una conexión en paralelo generan 110w como máximo para este caso, además estos cálculos podrán ser ampliados en la sección de implementación.

3.1.1. Implementación de PCB

Después de investigar los componentes más viables para implementación tanto en aspectos técnicos como económicos el diseño de PCB es el siguiente:

3.1.1.1. Espiras Resistivas

El diseño dispositivo en su parte más importante incluye una resistencia formada por las líneas de cobre sobre la placa que generan radiación de calor al ser alimentada y para la monitorización e interpretación de la temperatura, en el conjunto de espiras se usa un sensor de temperatura I2C.

Ocupa una dimensión de 62 x 15 mm, que se encarga de generar energía calórica suficiente para el experimento del hidruofluoéter. Todo el diseño consta de una formación de líneas paralelas y uniones parabólicas aumentando así la capacidad de las pistas con un ancho de 8 mils equivalente a $2,03 \times 10^{-4}m$.

Los parámetros físicos están relacionados a factores como la resistividad del cobre que es $1,71 \times 10^{-8} \wedge.m$, la altura elegida es de 32m, una anchura de $2 \times 10^{-4}m$ y una longitud de línea de 2.16 mm, todos estos parámetros tomados por condiciones económicas de fabricación.



Ec. 1

Una espira individual adquiere el valor de 5,25Ω mediante los cálculos de (1), esta representación se muestra en la Figura 4.

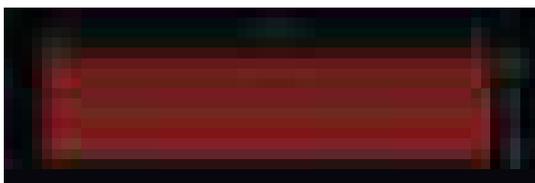


Figura 4, Modelo del diseño experimental de las espiras del dispositivo.

3.1.1.2. Implementación del esquemático

En el diseño esquemático del dispositivo una de las características principales de funcionamiento

es poder identificar y monitorear la potencia que se disipa en las espiras ya que es el mayor indicativo de la temperatura, diseño mostrado en la Figura 4. Todo esto se genera a partir del interruptor que se configura en salida de colector abierto que controla el paso de la corriente, para el cálculo de la potencia disipada por las espiras se usa (2); así en la siguiente Tabla 1, se muestra los posibles resultados con un Dutty Cycle de 100%, en las distintas configuraciones de las espiras.

Tabla 1. Cálculos de potencia promedio disipada.

V _{DD}	R(individual, serie, paralelo)	Pavg
12v 5	,25	27.43w
	21	6.86w
24v	5,25	109.71w
	21	27.43w
48v 5	,25	438.86w
	21	109.71w

3.1.1.3. Implementación del ruteo

El ruteo se implementó a partir de las condiciones necesarias de conexión para los elementos descritos y comentados en las secciones anteriores. Todo esto se encuentra en un área de 126 x 67 mm de extensión total de placa entre las condiciones principales tanto en la cara frontal (rojo) y trasera (azul), mostrados en la Figura 5, Figura 6 y Figura 7; que se utilizaron fueron:

- Ruteo de 2 capas.
- Planos de masa GND en la cara frontal (rojo) y trasera (azul).
- Planos de VPOW (alimentación 12,24 o 48v) en la cara frontal (rojo) y trasera (azul).
- Una parte de control del circuito ubicado en la parte frontal derecha que contiene el

microcontrolador, regulador y uno de los sensores de temperatura, con todos sus elementos activos y pasivos de configuración descritos en secciones anteriores, así como los conectores macho y hembra; en la parte trasera también se ubica un sensor de temperatura con sus elementos parte de este circuito.

Una parte de potencia que se ubica en la cara frontal izquierda compuesta por las espiras y los planos de alimentación y masa que se conectarán a unas barras de cobre en la carcasa del contenedor donde se aloje; en la parte trasera se ubica el interruptor encargado de la conmutación de las espiras.



Figura 5. Modelo de ruteo del diseño experimental.



Figura 6. Modelo de ruteo del diseño experimental plano frontal con alimentación y tierra.

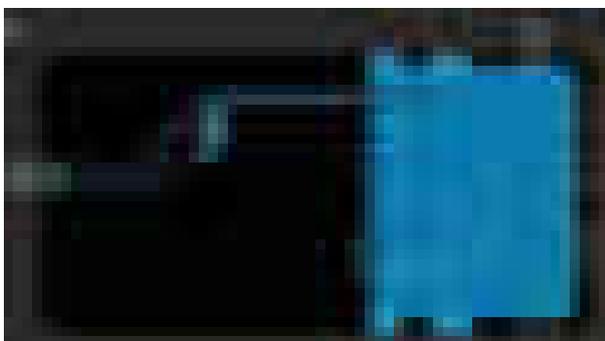


Figura 7. Modelo de ruteo del diseño experimental plano trasero con tierra.

3.2. Dispositivo final de PCB

La Figura 8 y Figura 9, muestran un modelo 3D del nodo experimental. El controlador es un microcontrolador PIC de 8 bits que incluye dos módulos I2C y varios módulos PWM de 10 bits. I2C1 está configurado como esclavo, con una dirección asociada, y se utiliza para recibir mensajes y solicitudes del controlador. I2C2 está configurado como maestro y se usa para comunicarse con sensores conectados y, opcionalmente, como maestro de un conjunto de otros nodos experimentales. Dos conectores I2C1 están alineados verticalmente, un encabezado y un zócalo, lo que permite una pila fácil de nodos experimentales en el mismo bus I2C sin cables. Y el conector I2C1 (que puede aislarse) y un conector I2C2 están alineados horizontalmente, lo que permite la concatenación fácil de nodos experimentales de forma jerárquica, siendo uno de los maestros de un nuevo conjunto, sin cables. Si el conector está aislado, no hay conexión eléctrica, sino sólo mecánica, creando una superficie similar a un equipo electrónico. Además, un conector I2C2 adicional está disponible para sensores externos o para su conexión a nodos experimentales paralelos. Ni los repetidores de bus I2C ni los multiplexores están incluidos en el nodo experimental, aunque una placa externa podría implementarse y usarse en la interconexión de nodos experimentales si un experimento no es viable con estos nodos.

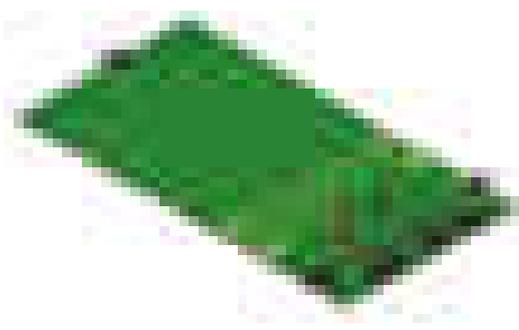


Figura 8. Modelo 3D del nodo experimental cara frontal.



Figura 9. Modelo 3D del nodo experimental cara posterior.

3.3. Software

En este apartado se muestra, la arquitectura de la estructura de los eventos sincrónicos en que permiten tomar eventos y medidas de archivos (.json), esto es registrado y controlado por el archivo (.py), de resultados el cual escribe y lee la información del Maestro principal del protocolo I2C mediante funciones asociadas en sus respectivos programas, todo esto mostrado en la Figura 10.

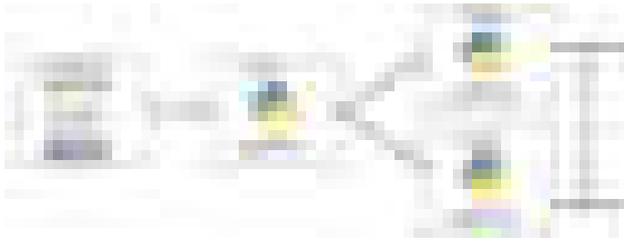


Figura 10. Arquitectura de la estructura de eventos sincrónicos del sistema.

3.3.1. Implementación Reactor

La estructura de reactor es la encargada de manejar los eventos para la investigación en los datos ingresados en la sección anterior los que identifican cada dispositivo conectado al sistema, esto hace que cada operación sea ingresada, recibida y despachada dependiendo de la información. Este proceso hace que cuando un evento se recibe el despachador hace su tarea el comportamiento del sistema entra en espera hasta cumplir con las tareas de escritura y lectura en los eventos puntuales y periódicos del sistema, hasta terminar la tarea una vez cumplido el ciclo hace que el ciclo de vida se reinicie, todo esto se ilustra en la Figura 11.



Figura 11. Ejemplo del funcionamiento de la operación de lectura del sistema

4. Pruebas y resultados

Si la frecuencia de muestreo máxima estimada para

el experimento es de 1 Hz, el modelo muestra que la implementación actual, Reactiva y con ACK, es válida para el experimento más pequeño sin necesidad de centrarse en la conectividad. Sin embargo, la solución que utiliza el enfoque codificado en el escenario más grande está cerca de 1 Hz.

Otra de las pruebas importantes, es la simulación del comportamiento de disipación de potencia de los 43 elementos distribuidos en la placa el material en el que se modeló esta simulación fue el aire, con una entrada de voltaje de 24v y una resistencia de espira individual de $5,25\Omega$ tomando estos datos como un experimento habitual para la caracterización del hidruofluoéter así existe una potencia total disipada de 110w, dando como resultado una temperatura máxima de 894.5oC, esto no genera valores críticos de riesgo ya que sería una temperatura más que suficiente para que el investigador realice las pruebas correspondientes en el sistema dentro del contenedor y el líquido, esta prueba se muestra en la Figura 12.



Figura 12 Experimentación calorífica en diferentes niveles del dispositivo

5. Conclusiones

La investigación presenta un sistema para la realización de experimentos de modelado y caracterización del comportamiento térmico del hidruofluoéter como elemento principal de un sistema de refrigeración en dos fases en aplicaciones específicas. Hemos organizado el sistema en tres módulos (configuración, visualización y ejecución y control) centrandó nuestra tarea en el diseño y la implementación del módulo de ejecución y control.

Este módulo está formado por un controlador que gobierna, a través del bus I2C, el funcionamiento de múltiples nodos de caracterización. Un nodo de caracterización es una tarjeta PCB de reducidas

dimensiones, 12cmx7cm, que se pueden unir para formar grandes superficies y simular el comportamiento térmico de un equipo informático. El sistema propuesto permite la generación de perfiles de carga dinámica y heterogénea que pueden ser adaptados para representar perfiles reales de aplicaciones IoT. La flexibilidad del modelo de comunicaciones permite la disposición de los dispositivos de monitorización y actuación según topologías 3D adaptativas. Esta característica es relevante para optimizar la ubicación de dispositivos reales dentro del tanque de inmersión de acuerdo con la carga de trabajo distribución y sus perfiles térmicos.

Los siguientes pasos son la fabricación del PCB y el montaje de 150 nodos para realizar los experimentos planteados en los casos de uso. Para facilitar el diseño de los perfiles de carga será necesario implementar el módulo de configuración, que actualmente se ha realizado de forma manual editando los dos ficheros JSON de entrada al módulo de ejecución que ha centrado este trabajo.

6. Referencias

- [1] Schneider Electric, «Schneider Electric,» DCSC@Schneider-Electric.com , 2012. [En línea]. Available: https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=JMON-5ZLP8M_R3_EN.pdf&p_Doc_Ref=SPD_JMON-5ZLP8M_EN. [Último acceso: 29 MAYO 2020].
- [2] Patterns in C – Part 5: REACTOR, «adamtornhill.com,» [En línea]. Available: <https://www.adamtornhill.com/Patterns%20in%20C%205,%20REACTOR.pdf>. [Último acceso: 29 MAYO 2020].
- [3] TEXAS INSTRUMENTS, «Understanding the I2C Bus,» TEXAS INSTRUMENTS, JUNIO 2015. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1590853054268>. [Último acceso: 30 MAYO 2020].
- [4] Z.-w. Hu, «10 Third International Symposium on Information Processing,» de I2C Protocol Design for Reusability, Qingdao, 2010.
- [5] NXP Semiconductors, «I2C-bus specification and user manual,» NXP Semiconductors, 4 ABRIL 2014. [En línea]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>. [Último acceso: 30 MAYO 2020].
- [6] JavaScript, «<https://www.json.org/>,» JavaScript, [En línea]. Available: <https://www.json.org/json-es.html>. [Último acceso: 31 MAYO 2020].
- [7] R. d. S. M. a. F. d. S. d. C. A. A. Frozza, «An Approach for Schema Extraction of JSON and Extended JSON Document Collections,» de 2018 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), Salt Lake City, 2018.
- [8] S. S. Sriparasa, JavaScript and JSON Essentials, P. Publishing, Ed., BIRMINGHAM - MUMBAI: Packt Publishing, 2013.
- [9] K. M. B. D. A. A. S. D. Müller, Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor, ELSEIVER ed., vol. 4, ELSEIVER, Ed., Silverdale, WA: ELSEIVER, 2019.
- [10] raspberry.org, «[raspberrypi.org](https://www.raspberrypi.org/),» raspberrypi.org, [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. [Último acceso: 3 JUNIO 2020].
- [11] MICROCHIP, «[microchip.com](http://www1.microchip.com/),» MICROCHIP, 2017. [En línea]. Available: [http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Microchip-8-bit-PIC-MCU-PIC16\(L\)F18426_46-Datasheet-40001985A.pdf](http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Microchip-8-bit-PIC-MCU-PIC16(L)F18426_46-Datasheet-40001985A.pdf). [Último acceso: 3 JUNIO 2020].
- [12] MICROCHIP, «[microchip.com](http://www1.microchip.com/),» MICROCHIP, 2020. [En línea]. Available: <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1792-Family-Data-Sheet-DS20006229C.pdf>. [Último acceso: 4 JUNIO 2020].
- [13] ANALOG DEVICES, «[analog.com](https://www.analog.com/),» ANALOG DEVICES, 2017. [En línea]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADT7410.pdf>. [Último acceso: 4 JUNIO 2020].
- [14] 3M, «Refrigeración por inmersión para centros de datos,» 3m.com.es, [En línea]. Available: <https://www.3m.com.es/>. [Último acceso: 7 JUNIO 2020].
- [15] A. Crespo, «Análisis de los límites de operación de hidro-fluoro-éteres para la refrigeración de sistemas de computación de alta densidad,» 2018.

[16] I. Vasco, «Diseño y Prototipado de un Módulo de Caracterización de Comportamiento Térmico del Hidrofluoroéter,» ETSIT, MADRID, 2019.

7. Biografía



¹Alex Mauricio Santana Gallo. – Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas Electrónicos (Universidad Politécnica de Madrid), Investigador invitado HCT-LAB Universidad Autónoma de Madrid 2016 (Becario Universidad de

Fuerzas Armadas ESPE), Ingeniero en Electrónica e Instrumentación (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE). CEO de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



²Naranjo Erazo Mauricio Xavier. – Supervisor Eléctrico (PRODICEREAL S.A.), Investigador invitado HCT-LAB Universidad Autónoma de Madrid 2017 (Becario Universidad de Fuerzas Armadas ESPE), Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

(Universidad de las Fuerzas Armadas Espe), DESARROLLADOR TÉCNICO de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



³Luis Fernando Santana Acurio. – Master en Educación Superior y Curriculum (Universidad Técnica de Ambato), Rector (Unidad Educativa Primero de Abril), Director Distrital 05D01 de Educación Latacunga(2017-2018), Doctor en ciencias de la Educación

mención Física (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), Licenciatura Física Matemáticas (Universidad Técnica de Ambato), CONSULTOR de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



⁴María Fernanda Oñate Pico. – Master en Educación Superior (Universidad de las Fuerzas Armadas Espe), Docente especialidad técnica (Instituto Superior Tecnológico Baños), Docente Matemáticas (Unidad La Salle Ambato), Ingeniería Mecatrónica (Universidad de

las Fuerzas Armadas Espe), GERENTE FINANCIERA de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



⁵Pedro Malagón. – obtuvo un doctorado en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid, España, en 2015. Es profesor desde 2010 en la UPM. Sus intereses profesionales son

principalmente hardware reconfigurable y computación consciente de la seguridad y la energía.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	08 octubre 2020
Fecha aceptación	18 diciembre 2020

SIMULACIÓN DE UN NODO DE COMUNICACIÓN VEHICULAR MEDIANTE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN FLEXRAY USANDO CANOE

SIMULATION OF A VEHICULAR COMMUNICATION NODE THROUGH THE FLEXRAY COMMUNICATION PROTOCOL USING CANOE

Alex Llerena¹, Fernando Gomez², Adolfo Peña³

^{1,2,3} Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ciencias Técnicas, Escuela de Ingeniería Automotriz
e – mail : ¹alllerename@uide.edu.ec, ²magomezbe@uide.edu.ec, ³ajpena@uide.edu.ec.

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 3 (10)

Resumen

En este artículo se describe como funciona el protocolo Flexray. La demanda de redes de comunicaciones automotrices está sufriendo una rápida evolución donde el estándar requerido deberían ser sistemas electrónicos más rápidos y confiables para el vehículo. El diseño de redes automotrices en vehículos está influenciado por varios factores, como el ancho de banda, las propiedades en tiempo real, la confiabilidad y el costo. FlexRay es un protocolo activado por el tiempo que puede satisfacer estas especificaciones. Puede funcionar como un sistema de dos canales. El software CANoe es utilizado por diseñadores de sistemas, integradores de sistemas, desarrolladores de redes y ECU, y con fines de prueba en todas las fases del proceso de desarrollo.

Palabras Clave: Flexray, protocolo de comunicación, CANoe, red de vehículos automotrices.

Abstract

In this paper is described how the Flexray protocol works. The demand for automotive communication networks is suffering a rapid evolution where the required standard should be faster and more reliable electronic systems for the vehicle. The design of automotive networks in vehicles is influenced by several factors, such as bandwidth, real-time properties, reliability, and cost. FlexRay is a protocol triggered by the time that can satisfy these specifications. It can operate as a dual channel system. The CANoe software is used by system designers, systems integrators, network developers and ECUs, and for testing purposes in all phases of the development process.

Keywords: Flexray, Protocol Communication, CANoe, Vehicle Network.

1. Introducción

Hoy en día, los vehículos incluyen una estructura compleja de sistemas electrónicos inteligentes y estructuras mecánicas integradas. En el interior de los vehículos, las redes cuentan con un método eficaz de comunicación entre los distintos componentes electrónicos. La infraestructura de comunicación en un automóvil consiste en diferentes sistemas de bus que están interconectados entre sí, depende de la previa del sistema para decidir qué bus se utilizará dentro del automóvil.

Vehículos que utilizan el sistema de frenos hidráulicos para detener el movimiento del vehículo. Este sistema requiere transmisión de datos, y estos datos deben transportarse de forma segura sin perder paquetes de datos y de forma rápida. FlexRay es un Fieldbus para automóviles. Si bien las simulaciones FlexRay por debajo del nivel del sistema ya están establecidas en las cadenas de herramientas automotrices, la simulación a nivel del sistema FlexRay aún no es común.

La simulación de diseños y configuraciones de Fieldbus es muy importante en el desarrollo automotriz. El protocolo FlexRay [1] es un protocolo activado por tiempo. Durante un ciclo de comunicación, el segmento estático proporciona acceso de bus determinista de acuerdo con un esquema de acceso múltiple por división de tiempo coordinado (TDMA). Además, el segmento dinámico admite una comunicación de prioridad estricta activada por eventos. [2]

Este trabajo aporta un modelo de simulación para buses de campo automotrices basados en FlexRay que se abstrae de los detalles de implementación y hardware. El estándar FlexRay se utiliza en el modelo de simulación. El modelo de simulación está diseñado para comunicar dos unidades de control electrónico (ECU).

FlexRay es un protocolo de comunicación diseñado como un bus automotriz confiable. Ofrece mayor ancho de banda que los protocolos anteriores como CAN o LIN. Es adecuado para la comunicación de aplicaciones críticas para la seguridad con altos requisitos de sincronización en cuanto a latencia y fluctuación. Además, ofrece dos métodos diferentes para transmitir tramas: Se utilizan estrategias de acceso múltiple por división de tiempo coordinada para enviar mensajes programados estáticamente. La comunicación activada por eventos priorizados es

compatible con un protocolo de mini slot. Debido al enfoque TDMA, cada nodo tiene su propio reloj que debe sincronizarse con precisión. Los relojes locales se sincronizan mediante corrección de frecuencia y desplazamiento en intervalos de tiempo específicos del segmento estático.

Una red FlexRay consta de conjuntos de ECU con controlador FlexRay. Cada controlador se conecta a otro canal de comunicación a través del controlador de bus. Un canal de comunicación puede ser:

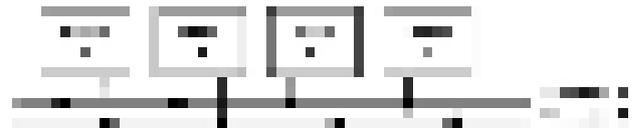


Figura 1. Configuración de bus pasivo de doble canal

1. Bus pasivo
2. Estrella activa
3. Híbrido (combinación de bus activo y pasivo)

Las topologías de bus pasivo y activo son como se muestra en la Figura 1 y Figura 2. En la configuración de bus pasivo, dos canales de cada nodo (A, B, C y D) están conectados al bus. Todos los nodos comparten el mismo bus para comunicarse entre sí.

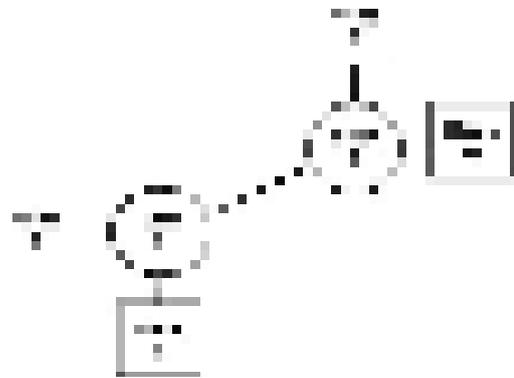


Figura 2. Configuración de bus activo

En la Figura 2 se muestra una red de un solo canal con dos acopladores en estrella (1 y 2). Dos nodos están conectados a cada acoplador. El nodo A o B puede comunicarse con el nodo C o D a través de estos acopladores de dos estrellas.[10]

El ciclo de comunicación FlexRay es el elemento fundamental del esquema de acceso a medios dentro de FlexRay. La duración de un ciclo es fija cuando se diseña la red, pero normalmente es de entre 1 y 5 ms. El ciclo de comunicación se muestra en la

Figura 3. Hay cuatro partes principales de un ciclo de comunicación:

- Segmento estático.
- Segmento dinámico.
- Ventana de símbolos.
- Tiempo de inactividad de la red.



Figura 3. Ciclo de comunicación

El segmento estático consta del intervalo de duración fija. Cada nodo posee un segmento, configurado en la etapa de inicialización y transmite datos en su propio segmento. La comunicación determinista la proporciona el segmento estático.

El segmento dinámico tiene una duración global fija, que se subdivide en mini ranuras. La duración de cada una de las mini ranuras es menor que la de una mini ranura estática. Para la trama de longitud de mensaje dinámica, se pueden asignar varios números de mini intervalos dinámicos.[8]

La ventana de símbolo se utiliza para el mantenimiento de la red y la señalización en la red y el tiempo de inactividad de la red se utiliza para la sincronización entre los nodos de la red.

El marco FlexRay tiene principalmente tres partes: [3]

- Los segmentos de encabezado
- Los segmentos de carga útil
- Los segmentos de remolque

El formato del marco FlexRay es como se muestra en la Figura 4.

Segmento de encabezado El segmento de encabezado contiene la información de control de protocolo como indicador de preámbulo de carga útil, sincronización de trama, indicador de trama de

sincronización, indicador de trama de inicio, longitud de carga útil, CRC de encabezado, indicador de trama nula, ID de trama y longitud de ciclo.[9]

El segmento de carga útil en el segmento de carga útil debe haber hasta 254 bytes de datos. Cuando no hay datos en el segmento de carga útil, se establece el indicador de trama nula. Opcionalmente, en los primeros dos bytes, se puede enviar un ID de mensaje para indicar el tipo de mensaje enviado en la trama.

Segmento de remolque la sección de remolque contiene un CRC de 24 bits que protege el marco completo

B. Obras relacionadas

Hay pocas obras en este contexto. En [4], los autores proponen una arquitectura integrada de seguridad para el desarrollo de un sistema Steer-By-Wire utilizando una red CAN. Su arquitectura de hardware es muy similar a nuestra arquitectura y el bus CAN está duplicado para garantizar un sistema confiable. La simulación del sistema se realiza usando la herramienta CANoe y luego el sistema se valida usando soluciones de Microchip de bajo costo para ECU e interfaces CAN. Sus trabajos se han centrado en el análisis de diseños de seguridad. Los inconvenientes del bus CAN son la falta de determinismo y ancho de banda.

En [5], los autores proponen un método integrado para evaluar tanto el rendimiento en tiempo real como la “Fiabilidad del comportamiento” de un sistema Steer-By-Wire. Definen un indicador de QoS del sistema que intenta optimizarlo. Sus resultados se validan en una arquitectura embebida real con redes TT y Flexray.



Figura 4. Formato de marco Flexray

2. Materiales y Métodos

Para la simulación se utiliza el software CANoe, donde se utiliza una estructura de modelo simple de dos ECU con el bus Flexray que se muestra en la Figura 5.

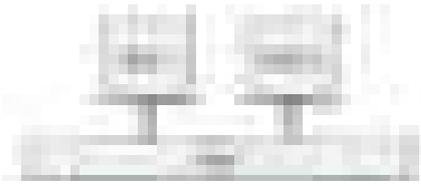


Figura 5. Estructura del modelo de simulación Flexray

Se creará una red simulada para verificar si la configuración general se realiza con el Protocolo FlexRay en CANoe. FlexRay, que es profesional y conveniente para simular, analizar y probar la red FlexRay, se emplea como nuestra herramienta principal durante la simulación.[6]

Primero, creamos un nuevo archivo Flexray en CANoe. A continuación, los nodos se agregan a la simulación.

En la Figura 6 se agrega una base de datos, esto es importante para ser considerado para la simulación. Para este modelo se utiliza una demostración de CANoe basada en datos de demostración Flexray.



Figura 6. Creación de base de datos para simulación Flexray

Finalmente, los nodos se cargan con una configuración y obteniendo el modelo mostrado en la Figura 7.

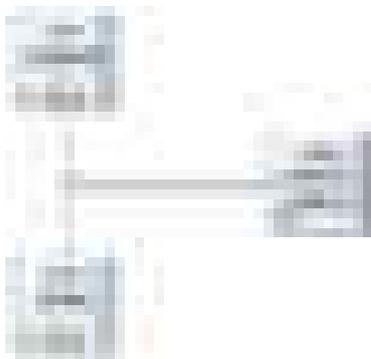


Figura 7. Esquema de simulación del nodo en red FlexRay

En la figura 8. se muestra la simulación red flexray con dos ECU donde se puede observar el rastro de la

comunicación flexray y los datos a través de la red.[7]



Figura 8. Simulación de la red Flexray Trace

3. Resultados y Discusión

Los mensajes a través de la ECU se pueden contar como muestra la figura 9. En la simulación se muestra el historial de mensajes de la comunicación Flexray.

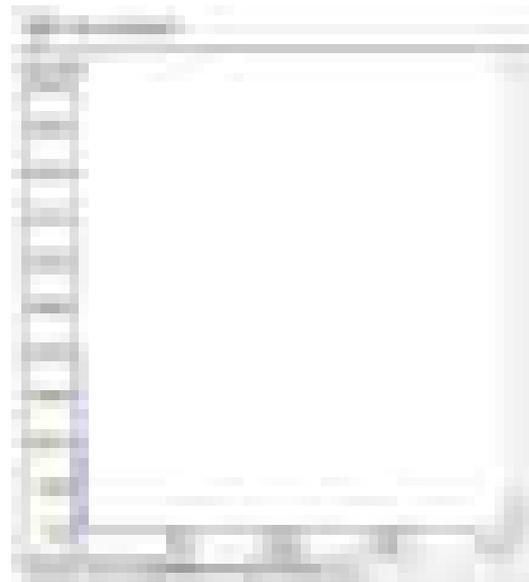


Figura 9. Historial de marcos de mensajes

4. Conclusiones

El artículo ha presentado una arquitectura para diseñar y simular un bus Flexray. En primer lugar, la arquitectura es en base a la comunicación de un solo nodo, Sin embargo, al usar el software en modo demo existen algunas limitaciones, pero se puede establecer las tramas de datos que existen dentro de la comunicación de ECU's.

La simulación ha permitido validar la funcionalidad del bus y su topología. El protocolo Flexray es un bus tolerante a fallas y se considera suficiente para aplicaciones críticas para la seguridad, siendo necesario la simulación de la introducción de ruido en la red planteada.

La demostración de CANoe no permite simular más de 4 ECU, esa es una limitación de una versión de demostración.

5. Referencias

- [1] Consortium FlexRay, "Protocol Specification,," Consortium FlexRay, Stuttgart, 2010.
- [2] R. Makowitz, "FlexRay – A Communications Network for Automotive Control Systems,," WFCS, 2006.
- [3] NI, "FlexRay Automotive Communication Bus Overview,," National Instrument, 24 08 2016. [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/3352/en/>.
- [4] Juan R. Pimentel, "An architecture for a safety-critical steer-by-wire system,," Society of Automotive Engineer, 2004.
- [5] P. Y. a. J and C. Gerde, "Steer-by-wire for vehicle state estimation and control,," In proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC), Netherlands, 2004.
- [6] Shaw, R., & Jackman, B. (2008, June). An introduction to FlexRay as an industrial network. In 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (pp. 1849-1854). IEEE.
- [7] Makowitz, R., & Temple, C. (2006, June). Flexray-a communication network for automotive control systems. In 2006 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (pp. 207-212). IEEE.
- [8] Park, I., & Sunwoo, M. (2010). FlexRay network parameter optimization method for automotive applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58(4), 1449-1459
- [9] Koopman, P. (2004). The FlexRay Protocol. Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University
- [10] Nilsson, D. K., Larson, U. E., Picasso, F., & Jonsson, E. (2009). A first simulation of attacks in the automotive network communications protocol flexray. In Proceedings of the International Workshop on Computational Intelligence in Security for Information Systems CISIS'08 (pp. 84-91). Springer, Berlin, Heidelberg.

6. Biografía



¹Manuel Fernando Gómez Berrezueta. - Ingeniero Mecánico Automotriz (Universidad Politécnica Salesiana), Maestro en Ingeniería Automotriz (Tecnológico de Monterrey, Toluca), Doctorando en Ciencias de la Ingeniería (Tecnológico de Monterrey, Ciudad de México), Doctorando en Educación (Universidad de Rosario), Docente – Investigador UIDE-Sede Guayaquil, Consultor - Asesor Técnico Área Ingeniería Automotriz, Miembro: RELIEVE (Red Latinoamericana de Investigación en Energía y Vehículos), Trabajó en varios proyectos de Investigación Internacionales. Becario SENESCYT.



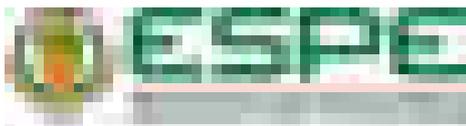
²Alex Fernando Llerena Mena. Master of Science in Mechatronic Engineering – Vehicle informatics, Obuda University- Budapest; Ingeniero Mecatrónico, Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE Latacunga; Supervisor Electrónico, Asistente Mecánico, Asesoramiento de proyectos, Docente de la Universidad Internacional del Ecuador. Producción científica de: artículos científicos relacionados al área mecánica y electrónica; ponencias nacionales e internacionales.



³Adolfo Juan Peña Pinargote Máster en Gerencia en Innovaciones Educativas de Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Ingeniero Automotriz de Escuela Politécnica del Ejército; estudios actuales de Doctorado en Humanidades y Artes con Mención en Ciencias de la Educación en Universidad Nacional de Rosario - Argentina, además de estudio de "Maestría en Diseño Mecánico" en Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	05 noviembre 2020
Fecha aceptación	22 diciembre 2020



ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LA CARROCERÍA TIPO VOLKSROD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

STRUCTURAL ANALYSIS USING THE FINITE ELEMENTS METHOD OF THE VOLKSROD-TYPE CAR BODY FOR THE CONSTRUCTION OF AN ELECTRIC PROPULSION VEHICLE

Franklin Patricio Fonseca Paredes¹, Javier Milton Solís Santamaría², Leonardo Danilo Arroba Muñoz³, Ángel Guillermo Masaquiza Yanzapanta⁴

^{1,2,3,4}Instituto Superior Tecnológico Guayaquil, Carrera de Mecánica Automotriz, Ambato - Ecuador
e – mail : ¹ffonseca@institutos.gob.ec, ²jsolis@institutos.gob.ec, ³larroba@institutos.gob.ec, ⁴amasaquiza@institutos.gob.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 4 (10)

Resumen

El objetivo principal del proyecto es el diseño de una carrocería modificada tipo Volksrod a partir de una carrocería Volkswagen tipo 1, que sea capaz de albergar los componentes necesarios para la propulsión eléctrica del vehículo modificado, sin perder con esto seguridad, confort, fiabilidad y autonomía.

El método seleccionado para validar el diseño y escoger la mejor opción del nuevo diseño de la carrocería es el método de elementos finitos. Para esto se realizaron varias combinaciones carga según el método LFRD, seleccionando la cuarta combinación, misma que se ajusta a los objetivos planteados por el equipo de trabajo.

En conclusión, en base a la modelación realizada sobre la base de la carrocería original y la modificada tipo Volksrod, se han dimensionado los espacios necesarios para los nuevos componentes de tracción, paquete de baterías y sistemas de seguridad, aprovechando esta modificación para brindar una apariencia retro-estilizada del vehículo.

Palabras Clave: Diseño, modificación, elementos finitos, modelación.

Abstract

The main objective of this project is the design of a modified Volksrod-type car body from a Volkswagen type 1 vehicle, which is capable of holding the necessary components for the electric propulsion of this modified structure without losing safety, comfort, reliability, and autonomy.

The method selected to validate the design and to choose the best option for the new car body structure is the Finite Elements method. For this purpose, various load combinations were performed according to the LFRD specifications, selecting the fourth combination, which meets the objectives set by the research team.

Finally, based on the modeling from the original car body structure and the modified Volksrod-type, the necessary spaces for the new traction components, battery pack, and safety systems have been dimensioned, taking advantage of this modification to provide a retro-stylized appearance for the vehicle.

Keywords: Design, modification, finite elements, modeling.

1. Introducción

El diseño mecánico consiste básicamente en aplicar conocimientos multidisciplinarios científicos y tecnológicos de frontera, a diferencia del diseño artesanal basado en conocimientos empíricos. El principal elemento del diseño es el cálculo que permite evitar la falla de los elementos mecánicos, además de garantizar la satisfacción de la necesidad de acuerdo a su destino de uso al menor costo posible. Deben considerarse diversos criterios de diseño y teorías en su cálculo, ya sea con la filosofía de diseño por evolución como por la de innovación. [1]

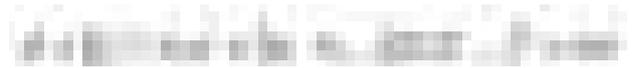
El método de elementos finitos (MEF), es un método numérico generalmente utilizado para la solución de problemas con alto grado de dificultad, ya que involucran geometrías complejas, determinación de propiedades de materiales y cargas no distribuidas. El análisis por elementos finitos es un método computarizado para predecir cómo un objeto real reaccionará a fuerzas, calor, vibración, flujo de fluidos, fenómenos eléctricos y magnéticos, entre otros. En términos generales se refiere a si este se romperá, fallara o trabajara como fue diseñado. [2]

El MEF, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos. [3]

Aplicación del método

La forma más intuitiva de comprender el método, al tiempo que la más extendida, es la aplicación a una placa sometida a tensión plana. El MEF se puede entender, desde un punto de vista estructural, como una generalización del cálculo matricial de estructuras al análisis de sistemas continuos. De hecho, el método nació por evolución de aplicaciones a sistemas estructurales. [4]

Un elemento finito e viene definido por sus nodos (i,j,m) y por su contorno formado por líneas que los unen. Los desplazamientos u de cualquier punto del elemento se aproximan por un vector columna $\vec{\mu}$



Ec. 1

El elementos Finitos, se representa a través de la Figura 1.



Figura 1. Coordenadas nodales (i,j,k) y desplazamientos de los nodos. Fuente: Eduardo Frias (2004)

N son funciones de posición dadas (funciones de forma) y a^e es un vector formado por los desplazamientos nodales de los elementos considerados. Para el caso de tensión plana. [4]



U : son los movimientos horizontal y vertical en n punto cualquiera del elemento.

a_j : Son los desplazamientos del nodo i .

Las funciones de posición N_i, N_j, N_k han de escogerse de tal forma que al sustituir en Ec 1. Las coordenadas nodales, se obtengan los desplazamientos nodales.

Conocidos los desplazamientos de todos los puntos del elemento, se pueden determinar las deformaciones (ϵ) en cualquier punto. Que vendrán dadas por una relación del tipo siguiente:

$$\epsilon = Su \tag{Ec. 2}$$

Siendo S u operador lineal adecuado. Sustituyendo la Ec. 1 en Ec. 2 se obtienen las expresiones siguientes:

$$\epsilon = Ba \tag{Ec. 3}$$

$$B = SN \tag{Ec. 4}$$

Suponiendo que el cuerpo está sometido a unas deformaciones iniciales ϵ_0 debido a cambios térmicos, cristalizaciones, etc. Y que tiene tensiones internas residuales σ_0 la relación entre tensiones y deformaciones en el cuerpo viene dada por

$$\sigma = D(\epsilon - \epsilon_0) + \sigma_0 \quad \text{Ec. 5}$$

Siendo D Una matriz de elasticidad que contienen las propiedades del material o materiales.

Se define,

$$F = \int_V b \, dV + \int_{S_f} t \, dS$$

Como las fuerzas que actúan sobre los nodos, que son estáticamente equivalentes a las tensiones en el contorno y a las fuerzas distribuidas que actúan sobre el elemento. Cada fuerza F_i debe tener el mismo número de componentes que el desplazamiento nodal u_i correspondiente y debe ordenarse en las direcciones adecuadas. En el caso particular de tensión plana, (Fig. 1) las fuerzas nodales son

$$F = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix}$$

Las fuerzas distribuidas (b) son las que actúan por unidad de volumen en direcciones correspondientes a los desplazamientos en u en ese punto. La relación entre las fuerzas nodales y tensiones en el contorno y fuerzas distribuidas se determinan por el medio del método de los trabajos virtuales. El resultado es el siguiente (V^e es el volumen del elemento e).

$$F = \int_V B^T b \, dV + \int_{S_f} t \, dS \quad \text{Ec. 6}$$

Esta expresión es válida con carácter general cualesquiera que sean las relaciones entre tensiones y deformaciones. Si las tensiones siguen una lineal, se puede reescribir la ecuación en la forma siguiente

$$F = \int_V B^T D (\epsilon - \epsilon_0) + \sigma_0 \, dV + \int_{S_f} t \, dS$$

En la expresión de f^e aparecen, por este orden, las fuerzas debidas a las fuerzas distribuidas, las deformaciones iniciales y las tensiones iniciales K es

la matriz de rigideces.

Si existen fuerzas nodales del elemento cuyo contorno posee una superficie A^e el termino adicional seria:

$$F = \int_{A^e} t \, dA$$

Tendrá que tener el mismo número de componentes que uno para que la expresión anterior sea válida. Una vez obtenido los desplazamientos nodales por resolución de las ecuaciones, se puede calcular la tensión en cualquier punto del elemento.

$$\sigma = D(\epsilon - \epsilon_0) + \sigma_0$$

Cálculo de la Tensión

La tensión en un elemento está determinada por la siguiente relación:

$$\sigma = D(\epsilon - \epsilon_0) + \sigma_0$$

Donde B es la matriz de desplazamiento nodal de deformación d es el vector de desplazamiento nodal, que se conoce para cada elemento una vez resuelta la ecuación global de EF.

Las tensiones se pueden evaluar en cualquier punto dentro del elemento (como el centro) o en el nodo. Los gráficos de contorno se utilizan generalmente en paquetes de software FEA (durante el postproceso) para usuarios para inspeccionar visualmente los resultados de la tensión. [5]

Tensión de von Mises

La tensión de von Mises es la tensión efectiva o equivalente para el análisis de tensión 2-D y 3-D. por un material dúctil, el nivel de tensión se considera seguro, si

$$\sigma_{vm} \leq \sigma_{el}$$

Donde σ_{vm} es la tensión de von Mises y σ_{el} el límite elástico del material. Esta es una generalización del resultado 1-D (experimental) a situaciones 2-D y 3-D.

La tensión de von Mises se define por:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_3^2}$$

Ec. 7

En el cual $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son las tres tensiones principales en el punto considerado de una estructura. Para problemas 2-D, las dos tensiones principales en el plano están determinadas por:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 8

Por tanto, también podemos expresar la tensión de von Mises en términos de los componentes de tensión en el sistema de coordenadas xy . Para condiciones de tensión plano, tenemos

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2} + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 9

2. Materiales y Métodos

2.1 Análisis de diseño de una carrocería Volkswagen tipo 1 original

El primer paso consiste en determinar las siguientes dimensiones:

- Longitud Total: 4070 mm
- Longitud entre Ejes: 2400 mm
- Ancho: 1540 mm
- Altura del Chasis: 1340.5 mm

Cálculo de cargas a aplicar en una carrocería Volkswagen tipo 1 original según la Norma (NTE INEN 1323:2009)

Los cálculos de cargas utilizados son:

- Carga Viva (CV)

La Norma indica que las cargas vivas son las originadas por los pasajeros con una masa de 70 Kg por ocupante, por lo que, según las características técnicas del Volkswagen Tipo I, se tiene espacio para 5 plazas ósea para 350 Kg. [6]

- Carga Muerta (CM)

La Norma indica que la carga muerta es el peso bruto del vehículo el cual es de 1740 Kg. [6]

- Carga de Giro (CG)

Se detalla que la Carga de Giro “debe determinarse en función de la Fuerza Centrífuga que da un vehículo al ingresar en una curva a una velocidad definida en un radio de giro”. [6]

La velocidad máxima a considerar para realizar el cálculo es de 120 km/h = 33.33 m/s, en vista que según la Policía Nacional del Ecuador existen vehículos que sobrepasan los límites permitidos en carretera. [7]

El peso del vehículo según las características técnicas es de 1740 Kg.

Tabla 1: Velocidades, Radios Mínimos y Perales en Carretera.

Velocidad (km/h)	Radio Mínimo (m)	Porcentaje de Peralte (%)
120	700	8
100	1000	6
80	1600	4
60	2500	2
40	5000	0

Según la tabla expuesta se define que la Velocidad Crítica es de 120 km/h, originando un radio de curvatura de la carretera de 700 m, con un porcentaje del peralte del 8%.

Por lo que el ángulo del peralte se determina como se muestra en la Figura 2:



Figura 2: Ángulo de Peralte
Fuente: Los Autores

Por lo que la carga de giro es:

Donde:
 $CG =$ Carga de Giro
 $P =$ Peso en bruto del Vehículo = 1740 Kg

V = Velocidad Crítica es de 120 km/h = 33.33 m/s
 r = Radio de Curvatura es: 700 m
 $\theta = 4.57^\circ$

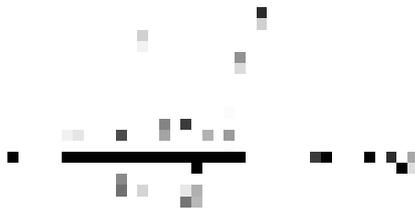
Por lo que:



• **Carga de Frenado (CF)**

La carga de frenado se determina de la siguiente manera:

d = Desaceleración de la Carga igual o mayor a 4 m /s² [6].
 G = Gravedad = 9.81
 P = Peso en bruto del Vehículo = 1740 Kg
 CF = Carga de Frenado



• **Carga de Aceleración Brusca (Ab)**

Según la Norma la Carga de Aceleración Brusca se define bajo el mismo criterio que el del Frenado, pero en sentido contrario. [6]

Por lo que:



• **Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)**

Se define por la fuerza del aire actuante sobre la proyección de una determinada área correspondiente al plano perpendicular. [6]

Donde:



C_d = Carga de Resistencia Aerodinámica
 C_x = Coeficiente de resistencia frontal del aire = 0.7 [6]
 ρ = Densidad del aire = condición más crítica. 1.225 kg/m³.
 A_f = Área correspondiente a la proyección
 V = Velocidad del Aire = 25 m/s [6]

Como no se tiene A_f , se procede a determinar en base al

B = Ancho: 1540 mm = 1.54 m
 H = Altura del Chasis: 1340.5 mm = 1.3405 m
 $A_f = B \times H$
 $A_f = 1.54 \text{ m} \times 1.3405 \text{ m}$
 $A_f = 2.064 \text{ m}^2$

Una vez definido todos los parámetros se procede a determinar la Carga de Resistencia Aerodinámica de la siguiente manera:



• **Combinaciones de Carga**

Se debe tener en cuenta que las carrocerías según Norma deben ser diseñadas en función de la resistencia de los esfuerzos, por lo que se recomienda las siguientes combinaciones de las cargas básicas. [6]

Por el Método LRFD (Load Resistance Factor Design)

- 1.4 M + V
- 1.2 M + 1.6 V + 0.5 G
- 1.2 M + 0.5 V + 1.6 G
- 1.2 M + 1.6 F + 0.8 R_{af}
- 1.2 M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 R_{af}
- 1.2 M + 1.5 Ab + 0.5 V
- 0.9 M - 1.3 R_{af}
- 0.9 M + 1.3 R_{af}

Por lo que los resultados de los análisis son:

- 1.4 * 1740 Kg + 350 Kg
- 1.2 * 1740 Kg + 1.6 * 350 Kg + 0.5 * 420.12 Kg
- 1.2 * 1740 Kg + 0.5 * 350 Kg + 1.6 * 420.12 Kg

$$\begin{aligned}
 &1.2 * 1740 \text{ Kg} + 1.6 * 709.48 \text{ Kg} + 0.8 * 53.38 \text{ Kg} \\
 &1.2 * 1740 \text{ Kg} + 0.5 * 350 \text{ Kg} + 0.5 * 709.48 \text{ Kg} + \\
 &1.3 * 53.38 \text{ Kg} \\
 &1.2 * 1740 \text{ Kg} + 1.5 * (-709.48) + 0.5 * 350 \text{ Kg} \\
 &0.9 * 1740 \text{ Kg} + 1.3 * 53.38 \text{ Kg} \\
 &0.9 * 1740 \text{ Kg} - 1.3 * 53.38 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Por lo que los resultados originados de las combinaciones que generan mayor carga son:

$$\begin{aligned}
 &2786 \text{ kg} \\
 &2858.06 \text{ Kg} \\
 &2935.12 \text{ Kg} \\
 &3265.87 \text{ Kg} \\
 &2687.134 \text{ Kg} \\
 &1198.78 \text{ Kg} \\
 &1635.39 \text{ Kg} \\
 &1496.61 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Según los datos originados la combinación que más genera resultados es la cuarta combinación.

Por lo que con esta combinación se procede a analizar la estructura.

$$\begin{aligned}
 &1.2 M + 1.6 F + 0.8 R_{af} \\
 &1.2 * 1740 \text{ Kg} + 1.6 * 709.48 \text{ Kg} + 0.8 * 53.38 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

2.2 Análisis de diseño de una carrocería Volkswagen modificado en un vehículo eléctrico modelo Volksrod

El primer paso a determinar es determinar las siguientes dimensiones:

- Longitud Total: 4070 mm
- Longitud entre Ejes: 2400 mm
- Ancho: 1540 mm
- Altura del Chasis: 1180 m

Cálculo de cargas de diseño de una carrocería Volkswagen modificado en un vehículo eléctrico modelo Volksrod según la Norma [6]

Los cálculos de cargas utilizados son:

- **Carga Viva (CV)**

La Norma indica que las cargas vivas son las originadas por los pasajeros con una masa de 70 Kg por ocupante, por lo que, según las características

técnicas del Volkswagen Tipo I, se tiene espacio para 5 plazas ósea para 350 Kg. [6]

- **Carga Muerta (CM)**

La Norma indica que la carga muerta es el peso bruto del vehículo el cual es de 1050 Kg. [6]

- **Carga de Giro (CG)**

Se detalla que la Carga de Giro “debe determinarse en función de la Fuerza Centrífuga que da un vehículo al ingresar en una curva a una velocidad definida en un radio de giro”. [6].

La velocidad máxima a considerar para realizar el cálculo es de 120 km/h = 33.33 m/s, en vista que según la Policía Nacional del Ecuador existen vehículos que sobrepasan los límites permitidos en carretera. [7].

El peso del vehículo según las características técnicas es de 1050 Kg.

Según la tabla expuesta en la estructura anterior se define que la Velocidad Crítica es de 120 km/h, originando un radio de curvatura de la carretera de 700 m, con un porcentaje del peralte del 8%.

Por lo que el ángulo del peralte es 4.57°, como se indicó anteriormente.

Por lo que la carga de giro es:

$$CG = \frac{P \cdot V^2}{r} \cdot \tan(\alpha)$$

Donde:

CG = Carga de Giro

P = Peso en bruto del Vehículo = 1050 Kg

V = Velocidad Crítica es de 120 km/h = 33.33 m/s

r = Radio de Curvatura es: 700 m

$\alpha = 4.57^\circ$

Por lo que:

$$CG = \frac{1050 \cdot (33.33)^2}{700} \cdot \tan(4.57^\circ)$$

- **Carga de Frenado (CF)**

La carga de frenado se determina de la siguiente manera:

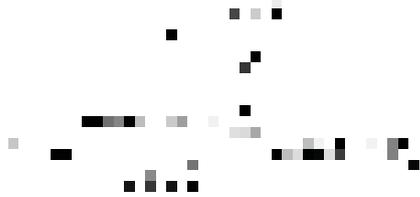
d = Desaceleración de la Carga igual o mayor a 4 m/s² [6].

G = Gravedad = 9.81

P = Peso en bruto del Vehículo = 1050 Kg

CF = Carga de Frenado

Por lo que:



- **Carga de Aceleración Brusca (Ab)**

Según la Norma la Carga de Aceleración Brusca se define bajo el mismo criterio que el del Frenado, pero en sentido contrario. [6]

Por lo que:

$$A_b = G \cdot P$$

- **Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)**

Se define por la fuerza del aire actuante sobre la proyección de una determinada área correspondiente al plano perpendicular. [6]

Donde:

$$R_{af} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A_f$$

R_{af} = Carga de Resistencia Aerodinámica

C_d = Coeficiente de resistencia frontal del aire = 0.7

ρ = Densidad del aire = condición más crítica.

1.225 kg/m³.

A_f = Área correspondiente a la proyección

V = Velocidad del Aire = 25 m/s

Como no se tiene A_f , se procede a determinar en base al

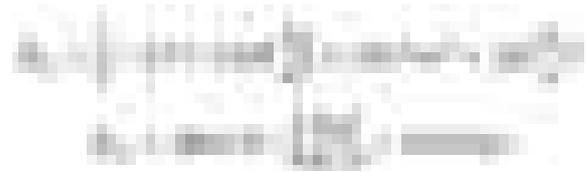
B = Ancho: 1540 mm = 1.54 m

H = Altura del Chasis: 1180 mm = 1.18 m



Una vez definido todos los parámetros se procede a determinar la Carga de Resistencia Aerodinámica de

la siguiente manera:



Según la combinación seleccionada anteriormente se procede de igual manera a analizar la estructura.

$$1.2 M + 1.6 F + 0.8 Raf$$

$$1.2 * 1050 \text{ Kg} + 1.6 * 428.13 \text{ Kg} + 0.8 * 49.6 \text{ Kg}$$

3. Resultados y Discusión

Los resultados del análisis del diseño de la carrocería Volkswagen tipo 1 original son:

- **Tensiones equivalentes** según VON Mises, es aceptable, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor fuerza es en las secciones de los parabrisas frontal y laterales, con un color celeste, el cual originan valores de 238600 MPa, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Tensiones Equivalentes del chasis Volkswagen

- **Desplazamiento** en mm, según los datos originados la deformación máxima que se da por el desplazamiento es de 12.86 mm, ver Figura 4.

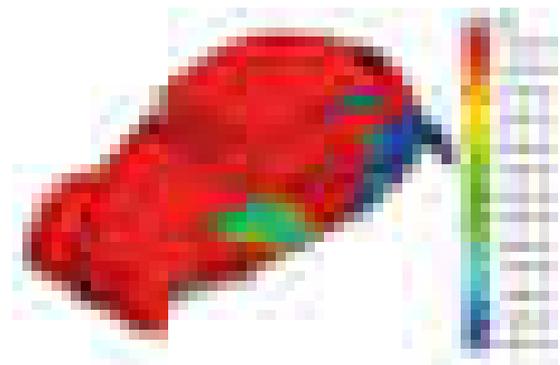


Figura 4: Desplazamiento en mm del chasis Volkswagen

- **Deformación Unitaria**, al igual que las Tensiones originadas son aceptables, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor deformación unitaria es de 0.6277 es en las secciones de los parabrisas frontal y laterales, marcando con un color celeste, ver Figura 5.

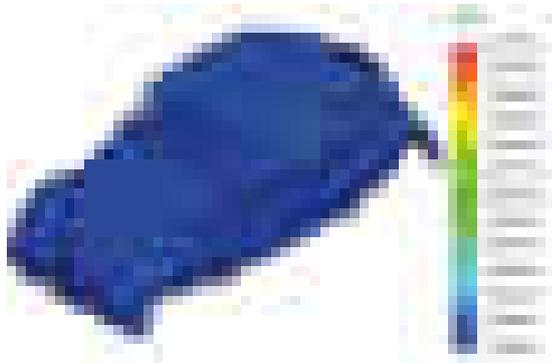


Figura 5: Deformación Unitaria del chasis Volkswagen

- **Factor de Seguridad**, el FDS mínimo resultante bajo el criterio de Tensión Normal Máximo seleccionado es de 2.9 tal como muestra la Figura 6.

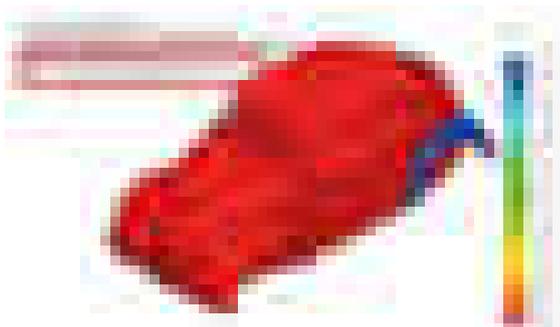


Figura 6: FDS del chasis Volkswagen

Resultados de los análisis de cargas del diseño de la carrocería Volkswagen modificado en un vehículo eléctrico modelo Volksrod.

Los resultados del análisis del diseño de la carrocería Volkswagen modificado en un vehículo eléctrico modelo Volksrod son:

- **Tensiones equivalentes** según VON Mises, es aceptable, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor fuerza es en las secciones de los parabrisas frontal y techo, con un color celeste, el cual originan valores de 49180 MPa, ver Figura 7.

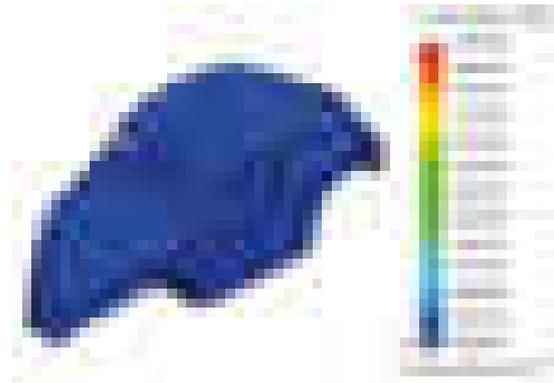


Figura 7: Tensiones Equivalentes del chasis Volksrod

- **Desplazamiento** en mm, según los datos originados la deformación máxima que se da por el desplazamiento es de 7.306 mm, como se detalla en la Figura 8.



Figura 8: Desplazamiento en mm del chasis Volksrod

- **Deformación Unitaria**, al igual que las Tensiones originadas son aceptables, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor deformación unitaria es de 0.1895 es en las secciones de los parabrisas frontal y techo, marcando con un color celeste, como evidencia la Figura 9.

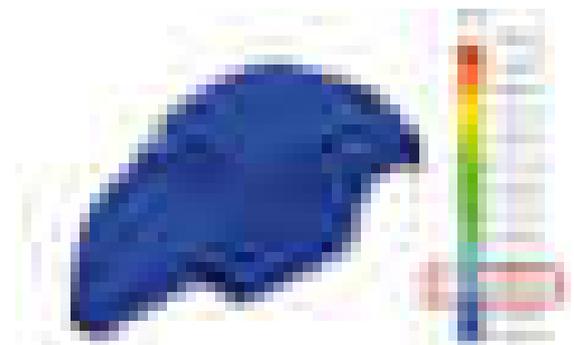


Figura 9: Deformación Unitaria del chasis Volksrod

- **Factor de Seguridad**, el FDS mínimo resultante bajo el criterio de Tensión Normal Máximo seleccionado es de 10.37, como se muestra en la Figura 10.

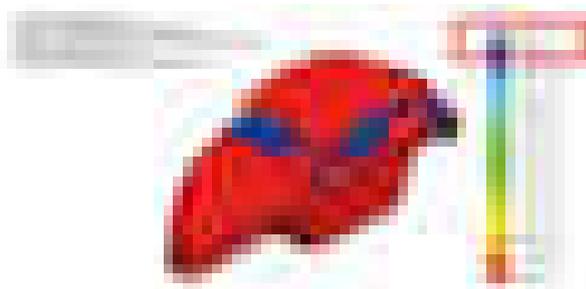


Figura 10: FDS del chasis Volksrod

- **Comparación de resultados.**

Los datos resultantes se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de comparaciones

Ensayo	Volkswagen	Volkswod
Tensión, MPa	238600	49180
Desplazamiento, mm	12.86	7.306
Deformación Unitaria	0.6277	0.1895
Factor de Seguridad	2.9	10.37

4. Conclusiones

Como se puede observar mejores características que presentan los ensayos son:

El Volksrod por poseer una Tensión, Desplazamiento y Deformación Unitaria menor, por lo que presenta un Factor de Seguridad mayor como es de 10.37, por lo que Mott (2006), recomienda que el diseño de estructuras estáticas bajo cargas dinámicas con algunas combinaciones debe ser de 4 o más.

5. Referencias

[1] U. C. Guillermo (1979). Notas del curso: Diseño

Mecánico Avanzado, SEPI-ESIME-IPN.

[2] V. Yépez, «Definiciones básicas del diseño de experimentos,» Universitat Politècnica de Valencia, 15 06 2019. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/24/definiciones-basicas-del-diseño-de-experimentos/>.

[3] H. Gutierrez Pulido y R. Salazar, Análisis y diseño de experimentos, vol. Segunda Edición, México: McGraw-Hill Interamericana, 2008.

[4] E. Frias, «El Método de los Elementos Finitos (FEM o MF),» 2004.

[5] Universidad de las Américas Puebla - UDLA, «4. TEORÍA DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS,» Catarina - UDLA - Puebla, 20 03 2019. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/florian_m_a/capitulo4.pdf.

[6] Herrera, C. V. B., & Villacis, J. O. G. Análisis estructural y optimización aerodinámica de la carrocería de un bus interprovincial modelo GR de la empresa Olímpica Quito.

[7] Los Ríos-DNCE, «Noticias,» 13 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.policiaecuador.gob.ec/control-para-evitar-accidentes-de-transito-se-refuerza-en-los-rios/>. [Último acceso: 1 Octubre 2016].

[8] Camacho Puello, J. C., & Romero Torres, M. D. J. (2012). Análisis estructural con el método de elementos finitos asistido por computadora.

[9] Meneses, C. A. (2016). Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

[10] Llanes-Cedeño, E. A., Moreno-Zulca, P. A., Guña-Fernández, W. V., & Jima-Matailo, J. C. (2020). Análisis estructural de un bus por el método de elementos finitos.

6. Biografía



¹Franklin Fonseca Paredes - Ingeniero Automotriz por la Escuela Politécnica del Ejército -ESPE, Magíster en Manufactura y Diseño Asistidos por Computador por la Universidad de las Fuerzas Armadas

-ESPE, Especialista en Matemática por la Universidad de Oviedo y Experto en Procesos de Investigación por la Universidad Técnica de Ambato.



²Javier Solís Santamaría – Ingeniero Automotriz por la Universidad de las Fuerzas



³Leonardo Arroba Muñoz - Ingeniero Automotriz por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Diplomado en mantenimiento de Maquinaria Pesada; Diplomado en Energías Renovables y Gestión de la Energía; Maestrante en Administración y Dirección de Empresas.



⁴Angel Masaquiza Yanzapanta- Ingeniero Automotriz por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Magister en Diseño Mecánico mención en fabricación de autopartes por la Universidad Internacional SEK y Experto en Procesos de Investigación por la Universidad Técnica de Ambato

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	18 junio 2020
Fecha aceptación	20 agosto 2020

MANTENIMIENTO CONTROLADO DE BATERÍAS DE ALTA GAMA UTILIZADAS EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

CONTROLLED MAINTENANCE OF HIGH-RANGE BATTERIES USED IN ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS

Diego Fernando Gallo Tafur¹, Jorge Stalin Mena Palacios², Cristhian Javier Valverde Estévez³
^{1,2,3} Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
e – mail: ¹dfgallo@espe.edu.ec, ²jsmena@espe.edu.ec ³cjvalverde@espe.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 5 (10)

Resumen

La investigación tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de gestión de baterías de alta gama en propulsión eléctrica a partir del control y monitoreo en tiempo real de parámetros en el sistema de carga y descarga.

Se enfoca en la investigación de la variación de valores de voltaje y corriente con respecto a la capacidad nominal de una batería, de acuerdo los procesos de carga, descarga, mantenimiento o diagnóstico de la batería.

Se presenta la determinación del estado de salud SoH, con el fin de brindar un diagnóstico del estado de vida de las baterías, para ello se ahonda en cálculos y ecuaciones basadas en la corriente, temperatura y tiempo. Se utiliza el método de conteo de coulomb para la extracción de datos reales del estado de la batería.

Palabras Clave: Sistema de Gestión de Baterías, Estado de Carga, Estado de Salud, Fases de carga.

Abstract

The main objective of the research is the design of a high-end battery management system in electric propulsion based on the control and monitoring in real time of parameters in the charging and discharging system.

It focuses on the investigation of the variation of voltage and current values with respect to the nominal capacity of a battery, according to the battery's charging, discharging, maintenance or diagnostic processes.

The determination of the state of health SoH is presented, in order to provide a diagnosis of the state of life of the batteries, for this it delves into calculations and equations based on current, temperature and time. The coulomb counting method is used for extracting actual data from the battery condition.

Keywords: Battery Management System, State of Charge, State of Health, Charging phases.

1. Introducción

El ahorro de energía y recursos es uno de los principales y más importantes temas de investigación y desarrollo de la comunidad científica en los últimos años. Tener un control total de la energía, desde su producción hasta su entrega en los respectivos actuadores/ consumidores, es de trascendental importancia en los sistemas de propulsión eléctrica.

Las baterías forman parte de los componentes más importantes en los sistemas de propulsión eléctrica. Sus características principales como su densidad de energía, potencia y energía específica, costo y vida útil restringen sus aplicaciones prácticas. El tiempo de vida útil de una batería, así como el adecuado rendimiento de sus prestaciones, dependen también de las características de su cargador y su modo de uso [1].

Las baterías con mayor elección en los sistemas de propulsión eléctrica son las baterías de Iones de Litio, las cuales destacan de entre las demás por su alta potencia específica, alta densidad de energía, baja tasa de auto descarga y otros excelentes resultados [2]. Por lo que en el presente estudio se toma en cuenta las características de las baterías de iones de Litio, como muestra la Figura 1.



Figura 1. Energía específica vs Potencia Especifica en baterías usadas en propulsión eléctrica

Un sistema de gestión de la batería se basa en el control y monitoreo de la cadena energética de la batería a través de los procesos de carga y descarga, con el fin de conseguir un uso óptimo de la energía y minimizar el riesgo de daños que afecten a la vida útil de la batería. A través del monitoreo se obtiene parámetros como el SoC, DoD y SoH [3]. El comportamiento de una batería se puede dividir en dos estados: carga o fase en la que se adquiere energía y descarga o liberación de energía. [4]

Es importante considerar que el proceso de carga no representa una simple alimentación de energía, sino que es necesario un manejo y control de voltaje y corriente suministrada, de lo contrario se puede dañar

la estructura interna de la batería y con ello reducir la vida útil de la misma [5]. La carga de una batería se puede dividir en subprocesos o fases con base al nivel de corriente y voltaje suministrado; las cuales son carga masiva, carga de absorción, carga de flotación y algunos autores han determinado una cuarta fase para cierto tipo de baterías como las de plomo ácido. [4]

La carga masiva tiene como característica principal el suministro de una corriente en su máxima capacidad de carga, esta corriente se la representa con base en la capacidad nominal de una batería expresada en amperios hora. La corriente de carga se mantendrá constante mientras el voltaje se incrementará hasta un 18.75% del voltaje nominal de la batería. Este proceso se realiza hasta obtener un 80% del SoC [6].

Una vez que el voltaje a alcanzado el voltaje de absorción (18.75% del voltaje nominal) este, se mantendrá constante mientras la corriente empieza a descender hasta llegar a un 3-4% de su capacidad nominal. La fase de absorción se lleva a cabo hasta conseguir un 100% de su SoC [7].

Una vez que la carga a llegado al 100% del SoC, el voltaje cae a un 12.5% más que su voltaje nominal [7], en las baterías de litio no es recomendable trabajar con voltajes elevados ya que el riesgo de sobrecarga es elevado [8]. La corriente se mantiene constante por debajo del 4% de su capacidad nominal. Esta fase termina cuando la batería comienza su descarga [7].

En las baterías de plomo-ácido es necesario una ecualización en la carga para evitar un desbalance en sus celdas internas; esto se consigue elevando su voltaje de carga y manteniendo una corriente equivalente a 0.5 amperios. [9] La ecualización en este tipo de baterías ayuda a eliminar cantidades de sulfatación acumulada; además, se recomienda ecualizaciones preventivas de 1 a 2 horas en lapsos de, 30-90 días [7], observe Figura 2.



Figura 2. Curvas características de carga [9]. (Voltaje/Corriente vs tiempo)

La descarga de la batería se mide en porcentaje y se denomina profundidad de descarga o DoD por su denominación en inglés depth of discharge. El DoD y el SoC son inversamente proporcionales, es

decir, cuando el DoD es igual a 0%, se tiene un SoC del 100% En las baterías de litio la profundidad de descarga no debe ser mayor al 80%, aunque algunos fabricantes consideran que el 15% de pérdida del SoC cuenta como un ciclo de descarga. [10]

$$D = 1 - \frac{C_{dis}}{C_{nom}}$$

Donde:

- C_{dis} = Profundidad de descarga
- C_{nom} = Estado de carga

Cuando una batería se descarga, la profundidad de descarga es igual a:

$$D = \frac{C_{dis}}{C_{nom}}$$

Donde:

- C_{dis} = Profundidad de descarga
- C_{nom} = Capacidad descargada por una cantidad de corriente.
- C_{nom} = Capacidad nominal de la batería

Existen varios métodos para la obtención del SoC, en la investigación se utiliza el denominado Coulomb Counting, el cual estima el SoC integrando la corriente suministrada o extraída de la celda durante un periodo de tiempo [11]. Este método es altamente preciso si se toma en consideración factores externos a la carga tales como temperatura, eficiencia, entre otros [12].

$$SoC = \frac{C_{nom} - \int I dt}{C_{nom}}$$

Donde:

- C_{nom} = Estado de carga
- C_{nom} = Estado de carga inicial
- C_{nom} = Capacidad nominal de la batería
- C_{nom} = Factor de corrección de carga/ descarga
- I = Corriente de carga/descarga
- t = Tiempo
- t_0 = Tiempo inicial

Se puede aplicar un factor de corrección a la capacidad en el inicio de la prueba con base a su temperatura.

$$C_{temp} = C_{25} \cdot k^{(T - 25)}$$

Donde:

- C = porcentaje de capacidad a 25 °C
- t = tiempo real de prueba
- t_0 = tiempo nominal
- k = factor de corrección para la temperatura de celda antes de iniciar la prueba

El test de servicio determina si aún satisface los requerimientos y características de su diseño. De la misma manera, está completamente ligado a las pruebas de capacidad con base a la descarga de la batería con determinado control de corriente; esto, con el fin de observar cambios a partir de sus prestaciones nominales. [13] Los indicadores como el SoC, DoD permiten realizar un análisis de la edad de la batería, por lo que su determinación permite tomar decisiones en cuanto a su mantenimiento o criterios de reemplazo. La base para la estimación del estado de vida de la batería tiene como primer fundamento la medición de un parámetro conocido como estado de salud o SoH por su denominación en inglés “State of Health”; el cual es la representación de la capacidad real de una batería en función de su capacidad nominal, debido a que la capacidad de una celda completamente cargada disminuye de acuerdo al tiempo de uso, la degradación normal de la batería y otros factores. [14]. Si el SoH es menor al 80%, la batería debe ser reemplazada [13]

Es importante aclarar que el diagnóstico y mantenimiento de las baterías se las debe realizar por celdas dado que existen errores y fallas producto de la conexión en serie de las celdas internas en los paquetes de baterías utilizadas en sistemas de propulsión eléctrica. Una falla ISC se refiere a un cortocircuito mínimo interno o por su denominación en inglés “Internal Short Circuit” y se refiere a una falla producto del diferencial de potencial entre celdas; esta falla puede desencadenar una reacción en cadena hacia toda la batería, generar fugas de energía en forma de calor y de ser el caso, incendios. [2]

2. Aplicación

El sistema de gestión de mantenimiento cuenta con 3 tipos de carga según la necesidad del proceso. Se varían los valores de corriente en la fase de carga masiva para obtener un tiempo corto, medio o largo de duración de carga.

Se mantiene siempre el límite de corriente de carga, la cual equivale al 30% de la capacidad nominal de la batería. Se puede cargar con mayor tasa de carga, pero se recomienda no hacerlo para no afectar la vida útil

de la batería, como se describe en la Tabla 1. [8]

Tabla 1. Valores predeterminados en carga masiva para los tres modos de carga

Modo de carga	Corriente (A)	Tiempo (h)	Voltaje (V)
Modo 1	10	1	14.4
Modo 2	5	2	14.4
Modo 3	2	4	14.4

Tabla 2. Valores predeterminados en carga de absorción para los tres modos de carga

Modo de carga	Corriente (A)	Tiempo (h)	Voltaje (V)
Modo 1	5	4	14.4
Modo 2	2	8	14.4
Modo 3	1	16	14.4

Tabla 3. Valores predeterminados en carga de flotación para los tres modos de carga

Modo de carga	Corriente (A)	Tiempo (h)	Voltaje (V)
Modo 1	0.05	24	14.4
Modo 2	0.05	24	14.4
Modo 3	0.05	24	14.4

En la fase de mantenimiento de la batería se restablecen las características de voltaje y corriente mediante 3 ciclos de funcionamiento (carga y descarga), ver Figura 3.



Figura 3. Ciclo mantenimiento

El diagnóstico de la vida útil se realiza mediante el cálculo del DoD y la capacidad máxima liberable con base a una descarga controlada con conteo de Coulomb.

3. Discusión

Al tener un control del voltaje, corriente, y temperatura con base en la constitución química de la batería en el proceso de carga, se garantiza la conservación de la vida útil y rendimiento adecuado de las prestaciones de diseño de la batería. Un cargador de corriente constante, según su valor de operación puede cargar a una batería, pero al no tomar en cuenta las fases de carga, afecta a la composición interna de la misma.

Los datos en tiempo real de voltaje y corriente permiten tener un control total del proceso de carga/descarga en una batería, advirtiendo así de cualquier falla ya sea en su estructura interna o en el sistema de gestión.

Es necesario conocer la estructura de la batería dado que ciertos valores de voltaje y corriente son adecuados en ciertas tecnologías, pero completamente destructivos en otras; es el caso de las baterías de Ion Litio las cuales pueden cargarse de forma no recomendada con tasas de hasta 100% de su capacidad nominal, mientras que en las baterías de plomo ácido se recomienda trabajar por debajo del 20%.

La descarga de una batería no se debe realizar por debajo de un 40% de su capacidad nominal, de hacerlo, se pone en riesgo la estructura interna de la misma, lo cual puede derivarse en un ISC. Como se mencionó anteriormente un ciclo de descarga depende de las especificaciones del fabricante, el voltaje de corte es el punto límite de descarga en una batería.

Para un diagnóstico preventivo es importante realizar test de servicios y mantenimientos cada 60 días, además de llevar un control de tiempo y número de ciclos de carga y descarga.

4. Conclusiones

- Los valores de voltaje y corriente en un sistema de gestión de batería que involucre carga y descarga, deben ser controlados en tiempo real para asegurar la eficiencia de los procesos.
- La estructura interna de las baterías genera condiciones en cuanto a los valores de voltaje, corriente, temperatura para la carga y descarga de las mismas.
- El control del tiempo en los ciclos de carga y descarga es necesario para evitar daños y

aceleración de deterioro en las baterías por sobrecarga o sobre-descarga según sea el caso.

- La vida útil de una batería es afectada por el comportamiento de los ciclos de carga y descarga, las prestaciones para las que fueron diseñadas varían de acuerdo al tiempo, composición interna y condiciones de uso.

5. Referencias

- [1] S. Lacroix, E. Laboure y M. Hilairet, «An Integrated Fast Battery Charger for Electric Vehicle,» IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, n° 1, pp. 1-6, 2014.
- [2] R. Xiong, W. Sun, Q. Yu y F. Sun, «Research progress, challenges and prospects of fault diagnosis on battery system of electric vehicles,» Applied Energy, n° 279, 2020.
- [3] J. Bergveld, W. Kruijt y P. Notten, Battery Management Systems, Eindhoven: SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V., 2002.
- [4] B. Buchli, D. Aschwanden y B. J., «Battery State-of-Charge Approximation for Energy Harvesting Embedded Systems,» Lecture Notes in Computer Science, n° 7772, 2013.
- [5] J. Larminie y J. Lowry, ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED, vol. Segunda Edición, Hoboken: John Wiley & Sons Ltd., 2012, pp. 19-77.
- [6] MASTERVOLT, Power Book, Damen Drukkers Werkendam, 2020.
- [7] Rolls Battery Engineering, Battery user Manual, Rolls Battery Engineering, 2019.
- [8] I. Buchmann, «Battery University,» 2020. [En línea]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries. [Último acceso: 11 Diciembre 2020].
- [9] Chargetek, «Battery charger basics,» 2015. [En línea]. Available: <https://chargetek.com/basic-information.html>. [Último acceso: 11 Diciembre 2020].
- [10] I. Buchmann, «Battery University,» 2020. [En línea]. Available: <https://batteryuniversity.com/>

learn/article/discharge_methods. [Último acceso: 11 Diciembre 2020].

- [11] J. Campillo, C. G., D. Chen, E. Dahlquist, D. Dallinger, D. Danilov, N. Ghaviha, R. Khors, S. Kouro, R. Madlener, V. Marano, S. Marwitz, M. Mierau, P. Notten, C. Ozansoy, V. Krishna, S. Rivera, A. Shafiei, T. Selim y N. Zimmerman, Technologies and Applications for Smart Charging of Electric and Plug-in Hybrid Vehicles, Suiza: Springer International Publishing Switzerland, 2017.
- [12] K. Ng, C. Moo, Y. Chen y Y. Hsieh, «Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries,» Applied energy, vol. 86, n° 9, pp. 1506-1511, 2009.
- [13] Institute of Electric and Electronic Engineers, «IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications - Amendment 1: Updated VRLA Maintenance Considerations,» IEEE, pp. 1-44, 2014.
- [14] I. Kim, «A Technique for Estimating the State of Health of Lithium Batteries Through a Dual-Sliding-Mode Observer,» IEEE transactions on Power Electronics, vol. 25, n° 4, pp. 1013-1022, 2019.

6. Biografía



¹Diego Fernando Gallo Tafur. – Egresado de la carrera de Ingeniería Automotriz (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE).



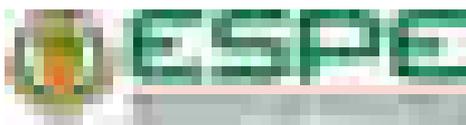
²Jorge Stalin Mena Palacios – Ingeniero Automotriz (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Msc. Gestión de la Producción (Universidad Técnica de Cotopaxi), Msc. Manufactura y Diseño Asistido por Computador (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Diplomado Superior en Autotrónica (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Docente tiempo completo (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE)



³Cristhian Javier Valverde Estévez. – Egresado de la carrera de Ingeniera Automotriz (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE). Tecnología en Electrónica Mención Automatización y Control (Instituto Universitario Rumiñahui).

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	10 Octubre 2020
Fecha aceptación	15 Diciembre 2020



MONTAJE DE CABRESTANTE EN REMOLQUE DE TALLER MÓVIL**WINCH MOUNTING ON MOBILE WORKSHOP TRAILER**

Gabriela C. Sarango O.¹ Rodrigo A. Cárdenas Y.² Edwin A. Chamba M.³ Diego G. Cuasapud P.⁴ Bryan J. Briceño M.⁵

¹Universidad UTE, ²Instituto Superior Tecnológico, ³Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) EP, ⁴TECNOREV,

⁵Universidad Nacional de Loja

e – mail: ¹gabytas922@hotmail.com, ²racardenasy@istx.edu.ec, ³echamba.monar1989@gmail.com,

⁵dcuasapud.mdm@uisek.edu.ec, ⁶bryan.briceno@unl.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 6 (10)

Resumen

La industria automotriz ha evolucionado proporcionando herramientas que han permitido facilitar efectivamente el trabajo, para que las actividades propias de ingeniería se desarrollen. Un taller móvil facilita las operaciones de mecánica automotriz en todo lugar, en este proyecto como parte del mismo, se implementa sobre un remolque un cabrestante eléctrico para distintos vehículos que requieran ser transportados de un lugar a otro de manera segura y eficiente, por medio de un cabrestante. Se trata de diseñar un mecanismo de remolque formado principalmente por un motor, reductor, tambor, embrague, freno y cables para transmitir el movimiento. Cada uno de los componentes del sistema fue seleccionado e implementado de acuerdo a parámetros de diseño donde se calcularon esfuerzos máximos producidos por las sollicitaciones en cada componente. Se realizó un análisis de los elementos dependiendo del material del que se encuentran elaborados, todo ello con el fin de que el sistema funcione correctamente incluso sometido a las cargas máximas, lo que garantiza que el trabajo realizado por el cabrestante sea óptimo.

Palabras Clave: Cabrestante, taller móvil, tensión, carga, esfuerzo

Abstract

This paper presents a system for performing experiments to model cooling system, in concrete applications.

The system is divided in three blocks, and this work is focused on the experiment execution and control block. There are three tasks within this block: First, the development of a flexible PCB device to generate controlled heat and monitor temperatures, controllable through an I2C interface. Second, the definition and evaluation of a communication protocol between a controller and each of the PCB devices, structured in a tree-based network. Third, the design and implementation of the experiment control software.

Keywords: Winch, mobile workshop, tension, load, stress

1. Introducción

El presente trabajo consta de la implementación de un cabrestante en el remolque de un taller móvil creado con la finalidad de efectuar mantenimiento y reparación rápida, traslado del automóvil y auxilio en caso de volcamiento. El cabrestante cumple la función principal de montaje sobre la plataforma del remolque. Debe ser comandado eléctricamente, con capacidad de tracción para mini bulldozer de oruga y vehículos livianos.

Con el objeto planteado, se analizarán los tipos de cabrestante utilizados en los remolques, y de los componentes que conforman los sistemas acoplados al remolque con sus normas respectivas, realizando el diseño de acoplamiento al remolque, y la selección de los elementos para el correcto desempeño del sistema del cabrestante e implementación de acuerdo a las normas técnicas.

La fricción que se produce en la superficie del remolque al tener contacto con el neumático de los vehículos, la oruga del mini bulldozer, y los distintos materiales de los que se encuentran conformadas las cargas a ser trasladadas, requiere de la implementación de un cabrestante como ayuda para disminuir el rozamiento producido por el arrastre y sujeción de la carga, transportar de un lugar a otro los vehículos y que al mismo tiempo cumpla con todas las normas de calidad y de seguridad requeridas para el óptimo funcionamiento del sistema, por lo que la utilización de un cabrestante es fundamental para evitar un deterioro más rápido de sus elementos y distribuir fuerzas de manera que disminuyan los daños a la estructura, en el izaje y transporte de cargas de hasta siete toneladas.

La funcionalidad del cabrestante complementará las actividades que se realizarán en el taller móvil, donde se desarrollarán acciones de trabajo mecánico, siendo de esta manera un elemento importante en el auxilio de vehículos que se encuentren en la necesidad de ser transportados para su posterior reparación.

El remolque, también conocido como acoplado o tráiler es un vehículo de carga no motorizado que consta de chasis, ruedas, superficie de carga y, dependiendo de su peso y dimensiones, un sistema eléctrico y freno propio. No se puede mover por sus propios medios, sino que es arrastrado y dirigido por otro vehículo [4],[2].

2. Materiales y Métodos

Se sigue la metodología general de diseño [9], esquematizada en la Figura 1.



Figura 1. Proceso de diseño

Fuente: modificado de (Milani, 1997)

Necesidad

La necesidad surge a raíz de que, al transportar cargas sobre el remolque, en este caso como el mini bulldozer o vehículos de competencia, se producirán fuerzas opositoras a las generadoras de movimiento, lo cual produce inestabilidad y debido a ello posibles caídas de la carga, deslizamientos, vibraciones y accidentes lo que puede generar daño a los operarios y las cargas.

Análisis

Por medio de investigación y recolección de información, datos y valores se analizan los parámetros que intervienen en el diseño de elementos de componentes eléctricos y mecánicos establecidos en ecuaciones de dinámica, momentos, fuerzas torsionales, esfuerzos cortantes, de trabajo, potencia y eficiencia, lo que permite realizar un diseño eficiente de un sistema complementario al taller móvil como es el cabrestante eléctrico.

Definición

El cabrestante es un dispositivo mecánico, impulsado por distintas fuentes de energía (eléctrica, hidráulica, neumática o de manera manual), destinado a levantar y desplazar grandes cargas, consiste en un rodillo giratorio alrededor del cual se enrolla un cable metálico provocando el movimiento en la carga sujeta al otro lado del mismo, como por ejemplo anclas o cadenas en embarcaciones en barcos, plataformas

petroleras, barcasas, transporte entre otras [12], [2], [11].

Especificaciones

Basándose en la información técnica recopilada, se analizaron los parámetros intervinientes en el diseño de elementos de componentes eléctricos y mecánicos establecidos en ecuaciones de dinámica, momentos, fuerzas torsionales, esfuerzos cortantes, de trabajo potencia y eficiencia, con el fin de aplicar conocimientos adquiridos lo que permitió realizar un diseño eficiente de un sistema complementario al taller móvil como es el cabrestante eléctrico.

Como segundo punto se desarrolló una investigación sobre los diferentes tipos de cabrestante existentes en el mercado y mediante un análisis técnico comparativo se seleccionará aquel sistema que sea más adecuados para el arrastre sujeción y carga del mini bulldozer, y otros vehículos que requieren ser trasladados de un lugar a otro con la ayuda de un remolque.

Posterior a ello, se diseñó el sistema de cabrestante obteniendo datos esenciales que permitieron calcular todo aquello considerado fundamental, como la potencia entregada por el motor eléctrico, la eficiencia del trabajo, las cargas máximas y mínimas aplicadas, la tensión en el cable metálico, el esfuerzo realizado en el cable y los pernos utilizados para fijar el cabrestante sobre el remolque.

Posteriormente con la ayuda de catálogos de distintas marcas y variedades de cabrestantes eléctricos se analizó y seleccionó cuál de ellos es el más apropiado para la implementación, cabe recalcar que cumplió y superó las especificaciones mínimas para que el sistema no sea sobre esforzado, de esta manera se asegura la correcta operación y la durabilidad del elemento.

Una vez realizada la adquisición del cabrestante se instaló sobre el remolque con todos los elementos necesarios, y éste va a ser tipo móvil, lo que significa que el cabrestante será colocado sobre una base diseñada a medida y éste sobre una estructura diseñada para que soporte y resista toda la fuerza que se produce cuando la carga esté siendo arrastrada hacia la superficie del remolque.

Se realizaron pruebas de funcionamiento del cabrestante instalado y todos sus elementos, se comprobó la conexión eléctrica que permite que el cabrestante funcione mediante un enlace con una

batería de 12V o a su vez conectado a corriente monofásica y trifásica mediante un regulador de voltaje, también se puso a prueba el funcionamiento del motor eléctrico, la capacidad de carga asignando distintos pesos y en distintas condiciones de terreno como planos y desnivelados.

Los materiales utilizados se basaron en normas reglamentadas, para la viga soporte del cabrestante se utilizó acero A36 norma ASTM [1], para la sujeción del conjunto se utilizaron pernos hexagonales M10.1.5 norma SAE 2, [14].

Ya que se trabajó con un motor eléctrico, cables metálicos, aplicación de fuerzas y tensiones, se requirió de un manual de uso del cabrestante y un manual de operaciones del equipo, esto permitió aplicar conocimientos adecuados y acciones correctas al momento de la manipulación lo cual garantiza la eficiencia del trabajo y la seguridad del operario.

La aceleración a , se estima como

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

Donde:

- Tiempo (s);
- Desplazamiento (m);
- Velocidad inicial (m/s)

Dinámica

Para determinar los esfuerzos realizados por los componentes que intervienen en el sistema es necesario determinar las fuerzas que actúan sobre cada uno de ellos, en dinámica se toma en cuenta todos aquellos parámetros que componen la fuerza realizada por un elemento como la Tensión y la fuerza normal, así como aquellas fuerzas que se oponen como el peso y la fuerza de rozamiento, lo cual se encuentra representado en el diagrama de fuerzas que se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Arquitectura propuesta para el PCB del sistema.

En el tramo AB y BC, se consigue μ y m ,
cómo y, respectivamente

$$\mu = \frac{F}{N}$$

$$m = \frac{W}{g}$$

Donde:

μ : coeficiente de fricción

m : Masa (kg)

g : Aceleración de gravedad (m/s²)

Trabajo

El trabajo W (J), se consigue con, cuya expresión
escalar se indica en

$$W = F \cdot d$$

Donde F : fuerza (N)

$$d = v \cdot t$$

Como en este caso $\alpha = 0$, se tiene a

$$W = F \cdot v \cdot t$$

Motor

La potencia determina el trabajo desarrollado por el motor. Las potencias más usuales para 12V van desde 4HP (2,98 kW) hasta unos 6,5HP (4,85kW) esto se debe a que los suministros de energía más comunes se encuentran dentro de estos rangos siendo la de 12 V la más accesible e incluso adaptable a baterías de vehículos convencionales [15].

La potencia entregada por el cabrestante también se puede medir como el producto de la fuerza transmitida por el cable por la velocidad del cable.

Los elementos que conforman el sistema cabrestante, varían según el tipo a utilizar, en este caso basándose en un cabrestante eléctrico se detallan las siguientes partes:

La potencia P (W), que debe suministrar el motor eléctrico se determina con la ecuación

$$P = F \cdot v$$

Donde:

W : Trabajo (J)

t : Tiempo (s)

F : Fuerza (N)

v : Velocidad (m/s)

La finalidad del tren de engranajes de un cabrestante es reducir la velocidad del motor eléctrico y aumentar el par. Convierte el poder del motor en capacidad de arrastre. La principal diferencia entre los distintos sistemas utilizados en los cabrestantes radica en su eficiencia, se tiene comúnmente al tren de engranajes rectos, con eficiencia del 75%, necesita de un sistema de frenado [10]. El tren epicicloidal, con una eficiencia del 65%, necesita de un sistema de frenado, proporciona una buena resistencia y suavidad de funcionamiento, siendo el sistema más extendido.

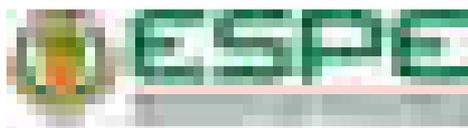
La relación final de desmultiplicación también depende directamente del diámetro del tambor. Así, a medida que se van superponiendo capas de cable sobre este, su diámetro efectivo aumenta permitiendo velocidades mayores a costa de reducir la fuerza de tiro. En este sentido, cuanto más ancho sea el tambor del cabrestante, más metros de cable se podrá recoger antes de que la superposición de capas pueda afectar su rendimiento.

Los contactores ocupan menos espacio que muchas cajas de relés originales. Además de estar mejor sellados, se pueden montar en el compartimiento motor de manera que quedan protegidos del agua y los elementos, este sistema fue reemplazado por los relés en modelos actuales debido a sus beneficios y mayor resistencia a condiciones ambientales, mal uso que pueda afectar los elementos o el contacto con otras partes del sistema, [3].

Cable del cabrestante

Factor fundamental para el funcionamiento del mismo, los cabrestantes se pueden instalar con cable de acero o con cable a base de fibra sintética, lo cual aligera de peso el equipo y modifica las longitudes de tracción, pero posee baja capacidad de carga. En concreto, a mayor longitud de cable suelto, mayor capacidad de arrastre tiene el cabrestante, los que llevan cable sintético, al haber aligerado el peso del tambor, a igual longitud de trabajo que el de acero, se obtendrá un poco más de capacidad de tracción.

Existe dos tipos de cables metálicos, el torzal regular que es el estándar aceptado, tiene alambre enlazado en una dirección, para construir los toroides y el cable de "torzal lang" lo cual significa que tiene los alambres en el toroide y los toroides en el cable plegado en la misma dirección, son más resistentes al desgaste abrasivo y a la falla por fatiga [5]. El esfuerzo longitudinal del cable σ_c (Pa), se calcula con



la ecuación.



Donde:

- E : Módulo de Young (Pa)
- d : Diámetro del cable (m)
- D : Diámetro del rodillo (m)

Una vez efectuado el análisis, síntesis y verificación de los componentes del sistema se procede a la implementación física, del cabrestante y a efectuar las pruebas de funcionamiento.

3. Resultados y Discusión

Tensión en cables

La aceleración se determina con, con $x = 5$ (m) y $t = 60$ (s), resulta la aceleración $a = 0,0027$ m/s².

La rampa tiene un ángulo $\theta = 17^\circ$, longitud $l = 1,57$ (m) y altura $h = 0,46$ (m).

Utilizando y , se estiman T_{AB} y T_{BC} para el rango de 1000 (kg) \square m \square 7000 (kg); el coeficiente de fricción utilizado es $\mu = 1$ (caucho – acero), tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Tensión T_{AB} y T_{BC}

m	a	g	T_{AB}	T_{BC}
kg m	/s ²	m/s ²	N	N
1000	0,0027	9,81	12252,22	9812,70
2000	0,0027	9,81	24504,43	19625,40
3000	0,0027	9,81	36756,65	29438,10
4000	0,0027	9,81	49008,86	39250,80
5000	0,0027	9,81	61261,08	49063,50
6000	0,0027	9,81	73513,30	58876,20
7000	0,0027	9,81	85765,51	68688,90

Trabajo

El trabajo se determina con para cada tramo y se totaliza como Wt , según se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Trabajo Total

$x1$	$x2$	W_{TAB}	W_{TBC}	Wt
m	m	J	J	J
1,57	3,7	19235,98	36306,99	55542,97
1,57	3,7	38471,96	72613,98	111085,94
1,57	3,7	57707,94	108920,97	166628,91
1,57	3,7	76943,92	145227,96	222171,88
1,57	3,7	96179,90	181534,95	277714,85
1,57	3,7	115415,88	217841,94	333257,82
1,57	3,7	134651,85	254148,93	388800,78

Potencia requerida

La potencia necesaria Pt , se estima para un intervalo de tiempo de 60 (s), utilizando y los resultados de Wt , se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tensión T_{AB} y T_{BC}

$Pt(W)$	$Pt(HP)$
925,72	1,24
1851,43	2,48
2777,15	3,72
3702,86	4,96
4628,58	6,20
5554,30	7,45
6480,01	8,69

Diámetro del perno

Para el cálculo del diámetro se selecciona la máxima carga que equivale a 7 toneladas (7000 kg), el límite de fluencia se toma de la tabla 4.

Se obtiene aplicando la teoría del esfuerzo octaedral [7] o intensidad de esfuerzos de von Mises, como describe la ecuación, el esfuerzo cortante octahedral admisible debe ser menor al esfuerzo cortante octahedral que se genera en un ensayo de tracción en el límite de fluencia \square .

En un estado de torsión pura \square , sustituyendo en, se obtiene:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_{\text{fluencia}}}{\sqrt{3}}$$

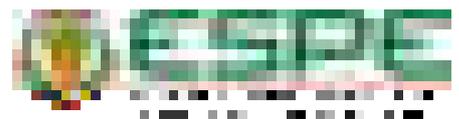


Tabla 4. Esfuerzos conectores tipo tornillo

Especificaciones SAE				
GRADO SAE	ACERO	DT	S _Y (MPa)	S _R (MPa)
1	Bajo Carbono	1/4 a 1-1/2	227,6	413,8
2	Bajo Carbono	1/4 a 3/4	379,3	510,3
3	Acero al carbono trabajado en frío	3/4 a 1-1/2	227,6	413,8
4	Acero al carbono	1/4 a 1-1/2	586,2	758,6
5	Acero al carbono templado y revestido	1/4 a 1-1/2	634,5	827,6
T5,1	Acero al carbono templado y revestido	1/4 a 1-1/2	724,1	917,2

DT: Diámetro del tornillo, SY: Resistencia a la fluencia, SR: Límite de rotura.

Fuente: modificado de Tabla 8-9 (Budynas, Nisbett, & Keith, 2008)

Se estima el diámetro del tornillo, a partir de y la expresión del esfuerzo cortante, resultando de:



Esfuerzo cortante del perno

Se considera la fuerza de rozamiento opuesta a la fuerza de tensión producida por el arrastre de la carga, para lo cual es necesario el coeficiente de fricción entre los materiales del perno y de la base del cabrestante (Figura 3).

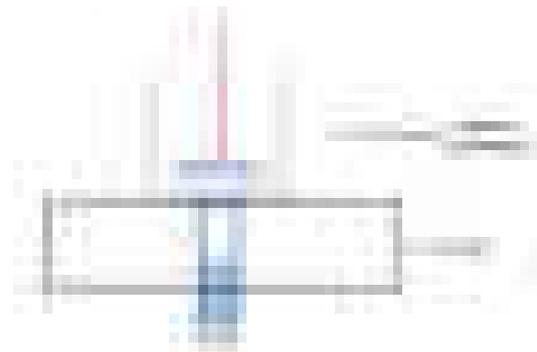


Figura 3: Junta del perno

El coeficiente de fricción estática μ , se toma como 0,74 (materiales compuestos por acero) y el esfuerzo cortante en el perno se calcula con:

$$\tau = \frac{F_r}{A_s}$$

Tabla 5. Esfuerzo del perno para distintas cargas

m	N	F _r	d	σ
kg	N	N	m	MPa
1000	9800	7252	0,013	54,64
2000	19600	14504	0,013	109,27
3000	29400	21756	0,013	163,91
4000	39200	29008	0,013	218,5
5000	49000	36260	0,013	273,18
6000	58800	43512	0,013	327,82
7000	68600	50764	0,013	382,45

Par de torsión del perno

Para calcular el par de torsión del perno, o la precarga requerida, o la fuerza de apriete para el ensamble de las piezas se toma referencia de la Tabla 6 el factor de par de torsión del perno, según la condición del mismo donde se expresa el recubrimiento que tenga,

Tabla 6. Factor de torsión del perno

Condición del perno	K
Sin recubrimiento, acabado negro	0,30
Galvanizado	0,20
Lubricado	0,18
Con recubrimiento de cadmio	0,16
Con anti-seize Bowman	0,12
Con tuercas Bowman-grip	0,09

Una vez seleccionado el factor de torsión del perno (sin recubrimiento, acabado negro), se aplica para hallar la precarga necesaria:



Selección del cable metálico

Para realizar la selección del cable se toma como referencia la Tabla 7, obtenida de [8] donde se toma en cuenta la máxima carga a la que va a ser sometido el cable (7000 kg), en la tabla se ubica el valor igual o superior a la masa lo que permite determinar el diámetro del cable.

Tabla 7. Carga de ruptura del cable metálico

Diámetro	CARGA DE RUPTURA		
	kN	libf	Ton
6,5	22,5	5,0	2,29
8,0	35,2	7,9	3,59
10,0	50,8	11,4	5,18
13,0	92,8	20,9	9,46
16,0	158,0	35,5	16,10

Fuente: (Kupfer División de cables, 2017)

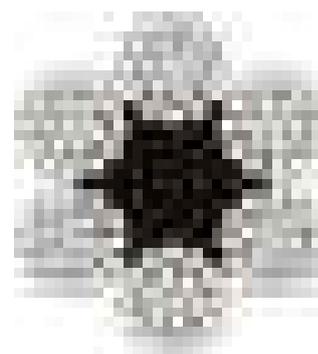


Figura 4: Sección de un cable 6x25
Fuente: (Kupfer División de cables, 2017)

La Tabla 8 se encuentra establecida para cable de construcción 6x25 con alma de acero que requiere un diámetro de rodillo mínimo de 170 mm por lo que seleccionamos un valor igual o superior para conocer el módulo de elasticidad.

Figura 4: Sección de un cable 6x25
Fuente: (Kupfer División de cables, 2017)

Construcción Cables	Módulo de Elasticidad (Kgf/m ²)
Serie 6 x 19 Alma de Acero	6000
Serie 6 x 37 Alma de Fibra	4700
Serie 6 x 37 Alma de Acero	5600
Serie 18 x 7 Alma de Fibra	4300
Serie 18 x 7 Alma de Acero	4500
1 x 7 (6/1)	11000
1 x 19 (12/6/1)	10000

Fuente: (Kupfer División de cables, 2017)

Aplicando la ecuación del esfuerzo realizado por el cable y tomando los valores seleccionados anteriormente en las tablas 7 y 8 reemplazando en la ecuación, se obtiene σ_c .

$$\sigma_c = E d/D$$

$$\sigma_c = 5600 \times 0.013 / 0,17$$

$$\sigma_c = 428,23 \text{ kgf/m}^2$$

Selección

El cabrestante eléctrico seleccionado es un equipo con capacidad de 10000 libras (4,5 toneladas) el cual arrastra los vehículos hacia el remolque con facilidad, ya que las cargas varían de 1 a 2 toneladas. Las especificaciones técnicas del cabrestante se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Especificaciones del cabrestante

Cabrestante XRC-10	
Marca	SMITTYBILT
Modelo	XRC10
Capacidad	4,5 ton
Potencia motora	5,5 HP
Tensión	12 V
Longitud cable	del 35 m
Control remoto	Alámbrico e inalámbrico
Peso	30,03 kg

El cabrestante trabaja a una tensión eléctrica de 12V, su conexión es simple ya que se conecta a los bornes de la batería de un vehículo convencional. En la Figura 5 se observa el cabrestante con sus componentes principales.



Figura 5: Cabrestante eléctrico

Instalación

La ubicación se encuentra en la parte central baja del remolque como se ve en la Figura 6. Una vez sujetado con los 4 pernos se debe verificar la posición del equipo. La instalación se efectuó, de acuerdo a la normativa [13].



Figura 6: Ubicación del cabrestante

4. Discusión

Para garantizar que el trabajo realizado por el cabrestante sea ejecutado de manera adecuada se debe tomar en cuenta ciertos aspectos que el vehículo a ser remolcado debe cumplir, a continuación, se detalla los parámetros necesarios para una correcta operación:

- El vehículo debe encontrarse con la transmisión en modo neutro, para que el vehículo sea desplazado con facilidad
- Previo al enganche, se debe ubicar el vehículo en una posición frontal con el cabrestante posterior a ello se debe aplicar el freno de estacionamiento lo que evita que el vehículo se desplace en direcciones inadecuadas.
- Como medida de seguridad es necesario comprobar el estado del gancho del vehículo, verificando que se encuentre bien instalado y totalmente acoplado para evitar que la conexión entre el cable y el vehículo se separe durante la operación.
- En el caso de que el gancho del vehículo sea de tipo roscado, se comprobará el ajuste del elemento de manera que se encuentre acoplado en su totalidad.
- Cuando el vehículo no posea gancho de anclaje, se debe buscar el punto más fuerte para producir el arrastre, dicho punto se puede encontrar en la carrocería o suspensión del vehículo (mesa) o un travesaño en el bastidor o compacto.

Con el cabrestante instalado, conectado a la batería se procede a realizar dos pruebas de funcionamiento con distintos vehículos de distintas masas. Las Tablas 14 y 15 expresan cada una de las pruebas realizadas con diferentes parámetros los cuales fueron objeto de observación para verificar el correcto funcionamiento del equipo.

Debido a la altura del remolque con respecto al terreno, y el cabrestante colocado justamente en la

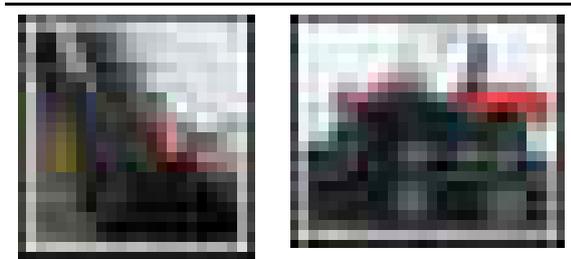
base delantera del remolque se producía un roce entre el cable metálico y la base posterior del remolque, para ello se colocó un rodillo que permitió el fácil deslizamiento del cable y evitó el contacto del mismo con la plataforma, se instaló de manera que no ocupe demasiado espacio y no obstruya el paso de la carga en el momento del arrastre.

Pruebas de funcionamiento

Con el cabrestante instalado, conectado a la batería se procede a realizar dos pruebas de funcionamiento con distintos vehículos de distintas masas. Las tablas 10 y 11 expresan cada una de las pruebas realizadas con diferentes parámetros los cuales fueron objeto de observación para verificar el correcto funcionamiento del equipo.

Tabla 10. Prueba de funcionamiento vehículo 1

VEHÍCULO 1: POLARIS



Tiempo	42 s
Estado del perno	OK
Deformación de la viga	NO
Deformación puntos de apoyo	NO
Estado del cable	OK
Soldadura	OK
Observación	Debido a que el punto de anclaje está en el centro del vehículo, el cabrestante no presentó inconvenientes. Dado que el vehículo es muy liviano el arrastre del mismo se produjo con mayor rapidez con respecto a otros vehículos.

Tabla 11. Prueba de funcionamiento vehículo 2

VEHÍCULO 2: CHEVROLET CORSA



Tiempo	65 s
Estado del perno	OK
Deformación de la viga	NO
Deformación puntos de apoyo	NO
Estado del cable	OK
Soldadura	OK
Observación	Debido a que el punto de anclaje se encuentra en la parte inferior derecha del vehículo, el cable tiende a enrollarse más en la parte derecha del rodillo por lo que se debe tener mayor precaución y una supervisión constante de la operación. Para cargas más pesadas se recomienda lubricar el cable metálico con aceite liviano SAE 10w30.

Una vez realizada las pruebas de funcionamiento se determinó que:

- El sistema opera en óptimas condiciones.
- No existe sobre esfuerzos ya que no se registró deformaciones en la viga ni en los pernos
- No hizo falta realizar un reajuste.
- No se registró un sobrecalentamiento del motor eléctrico.
- El sistema funciona de mejor manera conectado a una batería de un vehículo en modo encendido.
- Mientras mayor sea la carga mayor tiempo de operación.

5. Conclusiones

Al analizar el desplazamiento que va a producir el vehículo sobre el remolque se determinaron dos tramos y la dinámica producida en ellos fue diferente

debido a las condiciones produciéndose una mayor tensión en el segundo tramo.

Una vez determinada la tensión producida en dos tramos de diferentes condiciones se obtuvo distintos valores de tensión para masas que se encuentran entre 1 y 7 toneladas. Para calcular los materiales se tomó en consideración la carga máxima.

Al analizar los parámetros de esfuerzo cortante y de flexión, se determinó el material necesario para que la viga pueda cumplir con las especificaciones técnicas seleccionando una viga tipo C de 4 mm de espesor y medidas 10x 6 con longitud de 0.78 m. una viga lo suficientemente adecuada para soportar la tensión máxima que se produce al elevar las cargas.

Para el cable se seleccionó un cable de tipo galvanizado de construcción 6x25 de diámetro 13 mm que sobrepasa los valores estimados para los esfuerzos máximos.

El motor eléctrico adecuado para el trabajo del sistema oscila entre 700 y 800 Watts que alimentará de energía suficiente al cabrestante para cargas de siete toneladas.

También se seleccionó un perno de 10 mm de diámetro negro sin recubrimiento para el soporte de la base del cabrestante con la viga parte de la estructura del remolque.

6. Recomendaciones

Para un mejor manejo del cabrestante se recomienda implementar un recubrimiento el cual evite que se produzcan daños en el mismo también se sugiere considerar un equipo de protección personal para preservar la seguridad del operario.

Se recomienda realizar un correcto uso del cable metálico, ya que si se manipula de manera errónea puede presentar roturas y desligues de los toroides lo cual genera un enredo del cable perdiendo así su eficiencia. Manipular el cable con guantes de cuero.

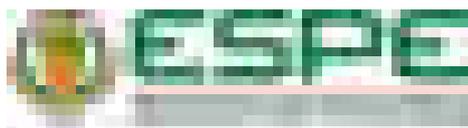
Antes de poner el sistema en funcionamiento se recomienda que el remolque debe estar anclado a un vehículo, ya que debido al peso de la carga el remolque tiende a retroceder si no tiene un apoyo frontal.

Se sugiere implementar el taller móvil con un acople tipo pluma conformado por una estructura metálica y una polea con el fin de retirar vehículos de

lugares de difícil acceso o de difícil terreno.

7. Referencias

- [1]ASTM Committee A01 on Steel. (November de 2000). Designation: A 36/A 36M – 00a Standard Specification for Carbon Structural Steel. 3. West Conshohocken: ASTM. Obtenido de www.astm.org.
- [2]Bosch. (1996). Manual de la técnica del automóvil (3ra. ed.). Barcelona, España: Reverté, S.A.
- [3]Budynas, R. G., Nisbett, & Keith, J. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (8va. ed.). (M. Á. Ríos Sánchez, Trad.) México, D. F.: McGraw-Hill/Interamericana. doi:ISBN: 978-970-10-6404-7
- [4]Domínguez, E., & Ferrer, J. (2008). Mecánica del vehículo 2008 (1 ed.). Granada: Editex S.A.
- [5]Faires, V. M. (1977). Diseño de elementos de máquinas (Cuarta ed.). Barcelona: Montaner y Simon.
- [6]Gómez, E. (2017). Diseño y factibilidad de un cabrestante hidráulico para un barco pesquero. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil: ESPL. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/130387/>
- [7]Goncalves, R. (2002). Introducción al análisis de esfuerzos (Segunda ed.). (R. Goncalves, Ed.) Caracas, Venezuela: USB.
- [8]Kupfer División de cables. (2017). Izaje manejo de carga y tracción. Cables y estrobos. Santiago, Chile. Obtenido de <http://www.kupfer.cl>
- [9]Milani, R. (1997). Diseño para nuestra realidad (Primera ed.). Baruta: Equinoccio USB.
- [10]Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas (Cuarta ed.). (V. González Y Pozo, Trad.) Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México. doi:ISBN: 970-26-0812-0
- [11]Pecharromán, Á. (2015). Diseño y análisis preliminar de un cabestrante en vehículo todoterreno. Universidad Carlos III de Madrid



EPS, Ingeniería Mecánica. Leganés: UCIIM. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25397/>

[12] Sarango, G. (2017). Implementación de un cabrestante comandado eléctricamente con capacidad de siete toneladas métricas en un remolque para minibulldozer a oruga. Tesis, Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la ingeniería e industrias, Quito. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16563>

[13] SMITTYBILT. (2016). Installation Manual. Compton, USA. Obtenido de <http://www.smittybilt.com>

[14] SODIPER LTDA. (2015). Catálogo de Pernos. 58. Comuna Independencia, Chile: Sodiper. Obtenido de <http://www.sodiper.cl/wp-content/themes/sodiper/catalogo.pdf>

[15] Warn Industries, Inc. (2014). Guía básica de técnicas para el uso del cabrestante. 47-63. USA. Obtenido de <http://www.warn.com>

8. Biografía



¹Gabriela Carolina Sarango Ortiz, Ingeniera Automotriz de la Universidad Tecnológica Equinoccial, cursando la Maestría en Ingeniería Automotriz con mención en Negocios Automotrices, en la Universidad

Técnica del Norte. Actualmente trabaja como docente en el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico.



²Andrés Cárdenas Yánez. MBA - M.Sc. Diseño Mecánico, Universidad Internacional SEK. Ingeniero Automotriz, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Director Administrativo - Docente a Tiempo Completo de la Carrera

de Mantenimiento y Reparación de Motores a Diésel y Gasolina del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi – Latacunga.



³Edwin Chamba Monar. MBA - M.Sc. Diseño Mecánico, Universidad Internacional SEK. Ingeniero Automotriz, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Trabaja en CELEC EP, brindando servicios administrativos y de asesoramiento en mantenimiento de flotas vehiculares y compras públicas.



⁴Diego Cuasapud. - Ingeniería Mecánico en la Universidad Tecnológica América, graduado de Magister en Diseño Mecánico en la Universidad Internacional SEK del Ecuador. Actualmente trabaja en TECNOREV, empresa dedicada a mantenimientos de vehículos automotores, donde se desempeña como Gerente Propietario.



⁵Bryan Briceño - Magister en Diseño Mecánico, Universidad Internacional SEK, Ecuador. Ingeniero Mecánico Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador. Docente Tiempo Completo de la Facultad de Energía de las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	15 octubre 2020
Fecha aceptación	18 diciembre 2020

SIMULACIÓN DE DESEMPEÑO DEL HABITÁCULO DE SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO LIVIANO A IMPACTO FRONTAL SOBRE UNA PARED RÍGIDA POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

PERFORMANCE SIMULATION OF THE SAFETY CABIN OF A LIGHT VEHICLE AT FRONT IMPACT ON A RIGID WALL BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Edwin Alfonso Chamba¹, Rodrigo Andrés Cárdenas², Bryan Jhon Briceño Martínez³, Diego Geovanni Cuasapud Puentes⁴
e-mail : ¹echamba.monar1989@gmail.com, ²andres.cardenasyanez1989@gmail.com, ³bryan.briceno@unl.edu.ec, ⁴dcuasapud.mdm@uisek.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 7 (10)

Resumen

Los ingenieros, generalmente utilizan programas computacionales que les permite realizar estudios y análisis basados en métodos explícitos e implícitos, lo cual admite tratar fenómenos físicos que antes eran imposibles analizar con procesos simples de cálculo. El presente estudio se enfoca en determinar una metodología para el análisis de desempeño del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano a impacto frontal sobre una pared rígida por el método de los elementos finitos, mediante un modelo CAD en un programa computacional, después se realizó el PRE PROCESAMIENTO, donde permite revisar la geometría, es decir validar errores frecuentes al generar malla de elementos finitos por ejemplo: interferencia, separaciones, duplicados, redondeos, caras duplicadas, entre otras, que se generaron al momento de dibujar el modelo, posterior a esto se determina la SOLUCIÓN en el software Ls Dyna, mediante simulación explícita se visualiza convergencia tomando en cuenta la propiedad de tracción de materiales mediante probetas ensayadas bajo la Norma Técnica ecuatoriana NTE INEN 109:2009 en el Centro de Fomento Carrocero de la ciudad de Ambato,. Se continuo con un POST- PROCESAMIENTO, que son resultados de la simulación, obtenidos donde se determinó el comportamiento estructural del habitáculo de seguridad evaluando el desempeño al someterse a un impacto frontal a una velocidad de 56 Km/h.

Palabras Clave: Impacto frontal, simulación, habitáculo de seguridad, elementos finitos, Crashworthiness.

Abstract

Engineers generally use computer programs that allow studies and analysis based on explicit and implicit methods, which admit physical phenomena that were previously impossible to analyze with simple calculation processes. The present study focuses on determining a methodology for the performance analysis of the safety cabin of a light vehicle at frontal impact on a rigid wall by the finite element method, using a CAD model in a computer program, then performed the PRE PROCESSING, where it allows to review the geometry, that is, to validate frequent errors when generating a finite element mesh, for example: interference, separations, duplicates, rounds, duplicate faces, among others, that were generated at the time of drawing the model After this, the SOLUTION is determined in the Ls Dyna software, by means of the explicit simulation convergence is visualized taking into account the tensile property of materials by means of test pieces tested under the Equatorial Technical Standard NTE INEN 109: 2009 at the Development Center Body builder of the city of Ambato,. It was continued with a POST-PRO-CESSATION, which are results of the simulation, obtained where the structural behavior of the security cabin was determined by evaluating the performance when subjected to a frontal impact at a speed of 56 km / h.

Keywords: Frontal impact, simulation, safety compartment, finite elements, Crashworthiness.

1. Introducción

El presente proyecto pretende obtener información sobre el desempeño del habitáculo de seguridad de un automóvil al ser impactado sobre una pared rígida; el estudio dinámico se basa en simulación por el Método de Elementos Finitos (MEF), de la carrocería sometida a carga de impacto frontal.

Con el rápido desarrollo de la economía global y la tecnología de ingeniería, la industria del automóvil ha cambiado inmensamente el estilo de vida de las personas en las últimas décadas, y el uso de vehículos ha sido popular en diversos campos. Pero el accidente de tráfico se ha convertido simultáneamente en un grave problema social. La mortalidad causada por el accidente del vehículo se ha mantenido en un alto nivel. El impacto frontal representa el 40% de todas las colisiones de vehículos, causando el 70% del total de muertes de tráfico. (Wang & Wang, 2016)

Otro caso que estudia un modelo de automóvil y su comportamiento en un choque es el realizado por el Colegio de Ingeniería de la Universidad Estatal de Florida donde se crea un modelo por Elementos Finitos de todo el auto asignando los diferentes componentes, materiales con los mismos tipos de conexiones y uniones para realizar un estudio de impacto frontal y lateral en diferentes escenarios, otro objetivo de este trabajo fue analizar una estructura modificada a partir del modelo de fábrica como muchos de los fabricantes de autos lo hacen en nuestro país. Se concluye que los resultados numéricos fueron comparados con los resultados experimentales en diferentes niveles de validación, encontrando una buena correlación para cada caso; el ensayo de volcamiento de acuerdo a la norma R 66 puede registrar distribuciones de las condiciones iniciales dependiendo de la estructura del automóvil. (Morka, Kwaśniewski, & Wekezer, 2005)

Planteamiento del problema

En un informe emitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2010 se encontró Ecuador como uno de los países con más muertes por accidentes de tránsito en Latinoamérica. El 50,09% son ocasionados por falta de experiencia o descuido del conductor, el 13,2% por desacato a las leyes de tránsito, el 12,31% por superar límites de velocidad, por embriaguez son el 9,73%, el 7,69% por situaciones externas sin comprobar y el 6,99% por descuido de otros implicados. (Agencia Nacional de Tránsito 2010).

Se considera que una prueba de choque es una forma de pruebas destructiva para garantizar un diseño seguro en caso de impacto o colisión. Pero no siempre es económico destruir un espécimen para garantizar su seguridad, especialmente en el caso de producción a pequeña escala. La simulación de choque es muy popular últimamente, porque es una representación virtual de un ensayo destructiva de impacto de un vehículo empleando una simulación por computadora con el fin de examinar el nivel de seguridad del vehículo y sus ocupantes en diferentes condiciones como la velocidad de colisión, colisionar el objeto, el material y el número del componente del objeto colisionando, entre otros, por lo tanto, ahorra el tiempo y el coste. (Mishra & Pradhan, 2016)

Mediante el análisis de una estructura real con el método de los elementos finitos para evaluar el desempeño de la cápsula de seguridad del habitáculo del conductor y copiloto a impacto frontal sobre una barrera rígida. El programa de elementos finitos para este análisis es el software de simulación LS DYNA.

El estudio y la metodología de análisis planteados, podrían servir de base y objeto de estudio para ensayos virtuales de impactos frontales, laterales y por alcance.

Además de proporcionar un documento técnico que posiblemente ayude en las investigaciones forenses de accidentes de tránsito.

Es importante conocer que en Ecuador aún no se realiza este tipo de ensayos, por los altos costos que representa, sin embargo, el Programa de Evaluación de Vehículos Nuevos para América Latina y el Caribe (Latin NCAP) ofrece información transparente y real de las pruebas realizadas en Latinoamérica, entre sus principales miembros activos se encuentran los siguientes países: Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Uruguay, Argentina y Brasil. (Latin Ncap, 2018).

Seguridad vehicular en el Ecuador

El país se encuentra innovado de manera constante y se ha actualiza de acuerdo a seguridad vehicular, el primer paso fue la emisión y cumplimiento del Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) 034, Anexo III A, que exigió la incorporación de elementos mínimos de seguridad en cualesquiera automóviles que se comercialice. (Arizaga Cáceres & Gómez Rodríguez, 2015)

La industria de ensambladores y fabricantes de autopartes del Ecuador han realizado grandes

inversiones para el cumplimiento de la normativa. En la actualidad el resultado es alentador, ya que cualquier vehículo que se ensamble o fabrique en el país cuenta con estándares de seguridad que van a la evolución con bastantes países de la región.

Desde el año 1996, se ha modificado la ley de tránsito en el país, ya que el Transporte Terrestre tuvo y seguirá asumiendo un rol principal en la historia del Ecuador, con el único fin de disminuir progresivamente la pérdida de vidas humanas. (Cueva Chacón, Mayo et al. 2010)

A comienzos del año 2001, se promovió la creación de normativas INEN orientadas en disposiciones internacionales. Mismo que fue impulsado por varios entes privados, como la CINAE, AEADE y el Colegio de Ingenieros Mecánicos, con el único fin de impulsar procesos mediante normativas internacionales. A partir del año 2009, se envuelven nuevos actores gubernamentales, quienes emitieron observaciones y generaron cambios radicales en temas de seguridad, ocasionando incluso, que modelos exitosos del mercado salgan del mercado. (CINAE, 2017)

Lo que motivó a un progreso en la fabricación de vehículos, obteniendo como objetivo principal que cualquier automóvil sea seguro en las carreteras ecuatorianas; pero, la mayoría de accidentes son causados por imprudencia, impericia, e irrespeto a las leyes de tránsito, lo que indica de una manera clara que el conductor y las decisiones que realiza en pequeños instantes son primordiales. Por lo que respetar las señales de tránsito, no exceder límites de velocidad, usar el cinturón de seguridad no es suficiente, lo que determina que el principal objeto de estudio son estructuras de los automóviles y las protecciones que ofrecen a los ocupantes en caso de un siniestro de mayores proporciones. La Figura 1 indica los elementos de Seguridad Pasiva que conforma un vehículo del tipo M1.



Figura 1. CIDAUT, 2017

La principal diferencia del habitáculo con los demás elementos de seguridad del automóvil, es que el conductor puede apreciar y evidenciar el estado y funcionamiento de los sistemas de seguridad activa y pasiva en cualquier instante, sin que el vehículo sufra ningún deterioro. Mientras tanto, la demostración de la protección brindada por el habitáculo de seguridad sólo se demuestra en caso de sufrir un impacto violento a gran escala. La eficacia en un habitáculo de seguridad puede demostrarse si el vehículo se encuentra destrozado manteniéndose intacta la zona predestinada a los ocupantes. (Pérez 2009)

En la fabricación del habitáculo se emplean materiales muy resistentes, como aceros de ultra resistencia, en la actualidad se ensayan materiales aún más resistentes, con menor peso, de tal forma ampliar el grado de seguridad y disminuir el consumo del vehículo.

La Figura 2, es un claro ejemplo de la variedad de aceros o materiales compuestos empleados en un habitáculo de seguridad.



Figura 2. Materiales carrocería. Recuperado de <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/materiales-utilizados-en-la-carroceria-del-automovil>

Resistencia al choque “Crashworthiness”

El análisis computacional de la resistencia al choque de vehículos a impacto se ha convertido en una herramienta poderosa, reduciendo el tiempo de coste y desarrollando un nuevo producto que resuelve la seguridad corporativa y de choque de requisitos exigidos por gobiernos. Hoy en día, los elementos finitos no lineales permiten análisis de choque simulados con éxito en bastantes vehículos, y son capaces de diseñar automóviles que cumplan con las pautas de seguridad para impactos frontales, impactos laterales, choque en el techo, impacto en el cabezal interior, impacto trasero y vuelco. (Youn, Choi et al. 2004)

Al diseñar los elementos estructurales se visualiza

como único objetivo absorber energía en impactos a pequeñas y grandes velocidades (crashworthiness), en el área de Ingeniería automovilística y aeronáutica ha incrementado la exigencia en seguridad. Existen nuevos componentes estructurales, que presentan como beneficio ser más ligeros permitiendo la disminución en consumo de combustible y manteniendo la propiedad de absorción de energía, lo que obliga a optimizar los diseños empleando herramientas numéricas que desmullen el costo en ensayos en modelos completos. (Millán, 2013)

La Figura 3 indica el papel principal de la zona de transición, es transferir las cargas de choque del extremo frontal al extremo trasero del vehículo, mientras que el papel principal de la zona de aplastamiento es absorber lo más posible la energía cinética por modos de deformación plástica. La absorción de energía y la relación de absorción de energía en las partes claves deformables. Se puede ver que el haz longitudinal delantero es el camino de carga principal, que transfiere el 70% de la carga de choque y absorbe más del 50%. (Dan et al., 2016)

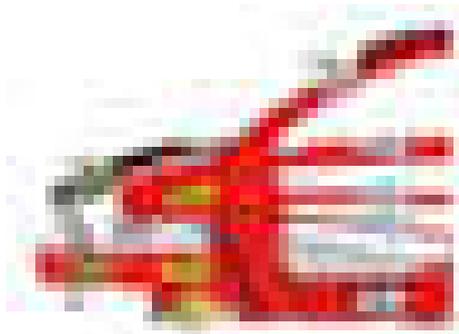


Figura 3. Distribución de la trayectoria de carga para el impacto frontal. Recuperado de Duan, Sun et al. 2016.

Por lo tanto, el objetivo de “crashworthiness” es una estructura de vehículo optimizada que puede absorber la energía del choque por deformaciones controladas del vehículo mientras que mantiene el espacio adecuado de modo que la energía residual del choque pueda ser manejada por los sistemas de retención para minimizar la transferencia de las cargas de choque a los ocupantes del vehículo. (Deformación Programada). (Du Bois et al., 2000)

La deformación programada

La Figura 4, muestra la viga longitudinal delantera (FLB) que tiene un patrón mixto de deformación axial y de flexión bajo el impacto frontal del vehículo. En comparación con la deformación por flexión, el modo de deformación axial es un patrón preferido

para absorber la energía cinética. Para aprovechar al máximo el espacio de trituración de la zona de aplastamiento y explotar el máximo potencial de absorción de energía. (Duan et al., 2016)

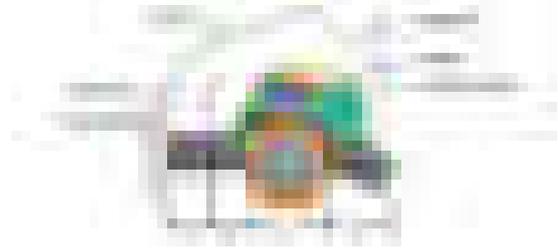


Figura 4. Espacio de aplastamiento para la estructura de la parte delantera. Recuperado de Duan, Sun et al. 2016.

El FLB se divide en 4 espacios diferentes, donde se espera que el espacio A y el espacio B generen un colapso axial relativamente uniforme y progresivo, el espacio C se define por las dimensiones del compartimento del motor y el espacio D espera que la alta rigidez de flexión resista a la deformación por flexión. Entre estos espacios, el ‘espacio A’, ‘espacio B’ y ‘espacio C’ pertenecen a la zona de aplastamiento, que se utilizan para absorber la energía cinética, mientras que el ‘espacio D’ pertenece a la zona de transición, cuyo objetivo principal es la transferencia de carga de impacto. (Duan et al., 2016)

Ensayos y pruebas de choque

Las colisiones de vehículos en el mundo real son eventos dinámicos únicos en los que el vehículo puede chocar con otro vehículo de forma, rigidez y masa similares o diferentes; o puede chocar con otro objeto estacionario tal como un árbol, una pared o un pilar de puente. Generalmente, con el propósito de desarrollar un reglamento y normas, los expertos en seguridad clasifican las colisiones de vehículos como choques frontales, laterales, traseros o de vuelco. Además, el vehículo puede experimentar un solo impacto o múltiples impactos.

La Figura 5, indica un método empleado por IRCOBI, es decir un estudio para la evaluación virtual puede producir resultados correctos, si se adopta un enfoque de validación de modelo estructurado, indicando que es un requisito previo para cualquier evaluación virtual. Para lo cual se realizó una comparación de un modelo de vehículo genérico de referencia en LS-DYNA y VPS. (Ghosh et al., 2016)

Lo que es clara justificación la utilización del método en estudios similares de impacto frontal.

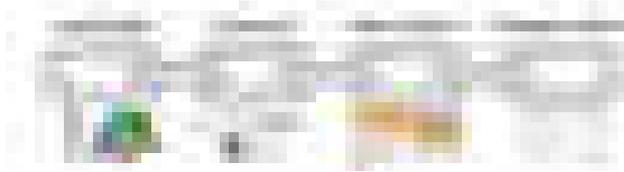


Figura 5. Elementos clave necesarios para la evaluación virtual. Recuperado de Ghosh, Mayer et al., 2016.

Los datos obtenidos de una simulación de choque indican la capacidad de la carrocería del vehículo para proteger a los ocupantes del vehículo durante una colisión contra lesiones.

En el Colegio de Ingeniería Automotriz de la Universidad de Ingeniería y Ciencia en Shanghái, como indica la Figura 6, se realizó un estudio sobre el rendimiento de absorción de energía, ya que es uno de los índices más importantes en la seguridad del vehículo durante el impacto, en donde se verifico, que la modificación debe hacerse en la parte frontal del vehículo mejorando la absorción de energía y la seguridad de la cabina, así como también la utilización de un modelo simplificado para disminuir el gasto computacional (Chen, Yang, & Wang, 2015).

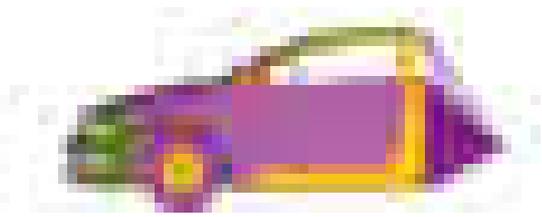


Figura 6. Modelo simplificado. Recuperado de Chen, Yang et al., 2015.

El impacto frontal “ideal”, que presenta menos daños en los ocupantes y vehículo, es completamente frontal. Es decir, si la trayectoria es inclinada, se genera mayor perjuicio en la carrocería, ya que la distribución de fuerzas no es uniforme permitiendo que existan áreas desprotegidas a un choque (Muñoz Agudo, 2015). La Figura 7 indica diferentes zonas durante el impacto de un vehículo.

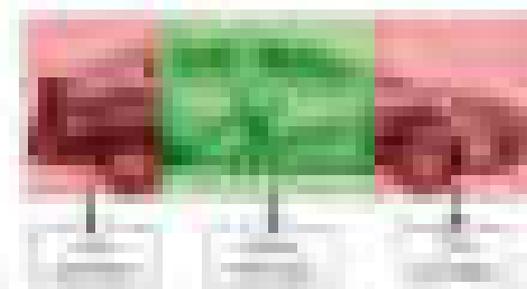


Figura 7. Diferentes zonas durante el impacto de un vehículo. Recuperado de Muñoz Agudo, 2015.

Tipo de Estudio

El presente proyecto se basa en un enfoque de investigación histórico lógico, en la fase inicial se refiere a los antecedentes, trabajos realizados sobre el tema y donde se obtienen fuentes de investigación, permitiendo construir un marco sobre los referentes teóricos en las áreas científicas y técnicas sobre impactos en vehículos sedan, posterior, se revisan las normativas para ensayos de choque, y los programas computacionales que permitan realizar los estudios virtuales. Luego utilizará el método de análisis síntesis para el diseño de la carrocería del vehículo sedán. Finalmente se procede con la simulación mediante el método de elementos finitos para realizar el estudio de la metodología para el análisis de desempeño del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano a impacto frontal sobre una pared rígida por el método de los elementos finitos.

2. Materiales y Métodos

El enfoque CAD-FEM propuesto se basa en cuatro fases principales secuencialmente acoplados como se resume en la Figura 8. En la primera fase se desarrollará la asignación de elementos de estudio para realizar la geometría CAD del habitáculo de seguridad y la revisión de Normativa para realizar Clash Test; el modelado 3D comprende la segunda fase y será realizado con operaciones de diseño computacional que permitan su posterior análisis.



Figura 8. Diagrama de proceso-Método

La tercera fase se centra en tres fases que son: pre proceso, análisis y Post proceso. En el pre proceso para el método de elementos finitos cuasi estáticos del habitáculo de seguridad se importará el modelo CAD al software LS DYNA, obteniendo como resultado el modelo 3D importado a un sistema de elementos finitos sin perder ningún detalle de diseño, donde se creará una malla ideal, se establecerán las condiciones de frontera para el escenario de simulación y se realizará el control de la dinámica explícita.

El Análisis al Método de Elementos Finitos comprende el “solver” que es un método numérico aplicado al ensayo deseado que se acerca al comportamiento real del fenómeno físico simulado, para lo cual el software aplica algo-ritmos matemáticos y resolución de ecuaciones diferencia-les avanzadas.

El Post proceso corresponde a la validación de los resultados obtenidos mediante el Software Ls Dyna, con un método numérico, para esto se realizará en el programa MATLAB Demo, ya que posee un lenguaje amigable en la programación, así como también presenta herramientas matemáticas y numéricas con respecto a la resolución de matrices.

La cuarta fase corresponde a la comparación de resultados, con respecto a las simulaciones realizadas, adicional, se empleará un total de 6 materiales para validación del estudio y mediante métodos de selección de materiales se verificará cual podría ser el sustituto al caracterizado.

Selección y asignación de elementos de estudio.

Se realizaron 62.305 ventas de vehículos en el año 2016, de los cuales hubo producción local del 50,7% que corresponde a 31.563 unidades. Entre las marcas favoritas en la compra de vehículos se encontraban: Chevrolet (40%), Kia (11%), Hyundai (7%), Suzuki (6%) y Toyota (5%). Lo que equivale decir al 69% de la participación de mercado. Los vehículos que prefiere el mercado ecuatoriano son los siguientes: los automóviles con el 44%, los SUV con el 26%, las camionetas abarcan el 21 % y los vehículos de transporte pesado con el 9% (Cinae, 2017).

Por esta razón el estudio se realizará sobre el vehículo Sedan Chevrolet Aveo Emotion GLS AC 1.6 4P 4X2 TM, la Figura 9, indica las medidas principales:

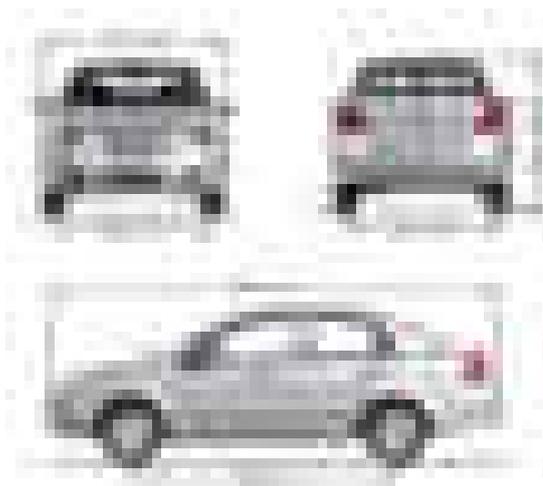


Figura 9. Dimensiones del vehículo Aveo. Recuperado de <http://automotoresonline.blogspot.com/2016/03/chevrolet-aveo-lt-16-manual.html>

Parámetros del ensayo de impacto frontal

La NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration, que en español significa Agencia Norteamericana de Seguridad en Carretera, realizo por primera ocasión el 1 de enero de 1972, normas de impactos para vehículos. El ensayo a superar radicaba en superar un impacto a velocidades de 40 a 56 Km/h contra un muro rígido, normal al desplazamiento del vehículo. Consistiendo por defecto que usan los fabricantes, organizaciones de homologación y NCAP, la Figura 10, presenta ensayos de choque utilizados a nivel mundial.



Figura 10. Ensayos de choque frontal NCAP. Recuperado de Eggers, 2013.

Construcción de la geometría en un Software para modelado y análisis de elementos finitos

El modelado de la carrocería y habitáculo de seguridad vehículo Sedan Chevrolet Aveo Emotion GLS AC 1.6 4P 4X2 TM, se la realizará en el programa NX, llamado Siemens NX o sencillamente Unigraphics, consiste en un software CAD/CAM/CAE creado por la Empresa Siemens PLM Software.

El software para análisis estructurales de NX utiliza NX Nas-tran, el solver de FEA más avanzado en materia de rendimiento computacional, precisión,

fiabilidad y escalabilidad.

Diseño del Cad

Se obtendrá las medidas del vehículo real para ingresar-las en el software.

Obteniendo los siguientes resultados:



Figura 11. Cad vehículo Sedán

La Figura 12, permite observar el habitáculo de seguridad del modelado realizado.

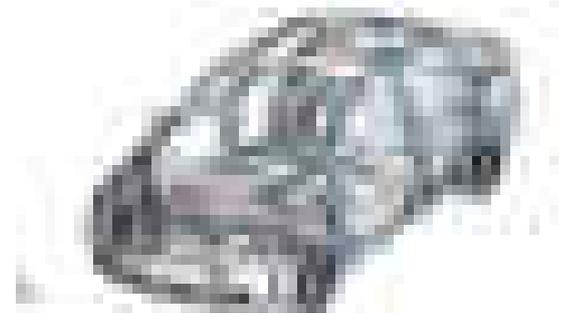


Figura 12. Cad vehículo Sedán-Estructura habitáculo de seguridad visible

Generación de malla para el análisis MEF

LS- Pre post es un avanzado pre y pos procesador que se incluye con el programa LS- DYNA. La Interfaz del usuario ha sido diseñada para ser eficiente e intuitiva. LS- Pre post se ejecuta en programas que utilizan gráficos OpenGL para lograr un renderizado y ploteo rápido en XY.

Para el presente estudio se va a utilizar una Malla 2D tipo superficie, tamaño 30 mm, teniendo en cuenta el número de elementos para la simulación, como indica la Figura 13 y 14.



Figura 13. Habitáculo Mallado



Figura 14. Habitáculo y carrocería con malla 2D.

Donde indica el número de elementos que se obtuvieron en la carrocería, es decir 114.143 elementos finitos, de acuerdo al tamaño de la malla.

Condiciones de frontera del escenario de simulación

En el programa LS- Prepost es donde se van a cargar las condiciones de frontera para la simulación. La Tabla 1 especifica las variables ingresadas como condiciones de frontera:

Tabla 1. Condiciones de Frontera

Variable	Valor
Norma	USNCAP-EUCE 94
Velocidad	56 Km/h (15.5 m/s; 1.556e+004 mm/s)
Muro	Pared Solida de 70 Ton.
Tiempo	0,50 ms
Material	024-Piece Wire_Linear_Plasticity

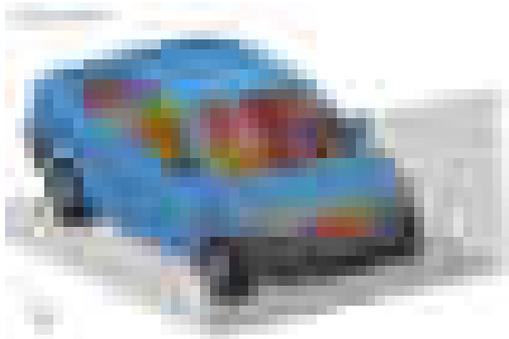


Figura 15. Condiciones de borde para escenario de simulación

3. Resultados y Discusión

Datos materiales

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo de tracción hasta que se produce la rotura. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión deben ser pequeñas.

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young,
- Coeficiente de Poisson,
- Límite de proporcionalidad:
- Límite de fluencia o límite elástico aparente
- Límite elástico.
- Carga de rotura.
- Alargamiento de rotura.
- Área de estricción

Para obtener las características mecánicas reales, se realizó 5 probetas bajo la norma técnica ASTM E8 de material y aprovechar la opción que presenta el software, fue necesario someter a cinco probetas del material del habitáculo de seguridad a pruebas de tracción, como se observa en la Figura 16, estas pruebas se realizaron en el laboratorio de análisis de materiales del centro de Fomento Productivo carroceros Metal Mecánico de la ciudad de Ambato, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2. Resultados de caracterización de materiales 2

Probeta	Resistencia a la rotura (Mpa)	Límite de fluencia (Mpa)
1	197,25	195,09
2	139,06	139,73
3	219,33	202,06
4	238,94	230,15
5	201,09	205,16
Promedio	247,234	194,438
\bar{x}		

La Figura 17, muestra información proporcionada de la caracterización del material, mediante el esfuerzo deformación en una probeta:



Figura 17. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado de LRM.

Las resistencias de materiales no lineales se asignan al Cad. La prueba de tracción se terminó en componentes de patrón para obtener la curva de esfuerzo-deformación de ingeniería. El esfuerzo real y la tensión auténtica se utilizaron como centro de la tarjeta de material en el software. La tarjeta de material utilizada en LS_DYNA es "Mat Piecewise linear Plasticity_24". Esta ley modela el material plástico elástico isotrópico usando características definidas para la curva de esfuerzo-tensión de plástico. Esta es una versión elástica de plástico que aplica el módulo de Young si el esfuerzo es menor que el límite de elasticidad y las curvas de esfuerzo-deformación medidas si la tensión es mayor que la tensión de fluencia.

VARIABLES OBTENIDAS EN EL ANÁLISIS COMPUTACIONAL

Los resultados obtenidos en el análisis se exponen a continuación, para la validación del estudio se va a trabajar en base a la relación entre la energía interna y Hourglass (control de reloj de arena).

El Control de Hourglass se trata de modos de

control de reloj de arena, es decir son modos no físicos de deformación que se producen en los elementos no integrados y que no producen esfuerzos.

El valor de energía Hourglass en un tiempo de 0,05 segundos es $1,3 \times 10^6$ Nmm.



Figura 18. Hourglass.

Para validar los resultados obtenidos en el estudio, se ha recurrido a la relación entre la energía interna de deformación de impacto versus el valor de la energía del Hourglass. Si la Energía de Hourglass es menor al 10 % de la Energía Interna la solución es aceptable. (LIVEMORE, 2014).

Se procede al cálculo de la relación entre la energía interna por deformación vs la energía Hourglass.



Ec. 1

El valor obtenido de H es menor al 10% por lo tanto el análisis es válido para las condiciones establecidas en la simulación a 56 km/h. En la figura 23, se muestra el comportamiento de la energía interna y la energía Hourglass que no sobrepasa el 10% de la energía interna.

Balance de energía

Para el presente estudio se observa que mientras la energía total permanece constante, la energía cinética decae totalmente a los 0.05 s. Así como también, la energía interna del sistema asciende, formando un entrecruzamiento a los 0.025 s, permitiendo visualizar la transformación de energía.



Figura 20. Curvas de energía

La gráfica de energía frente al tiempo para el modelo de elementos finitos completo del habitáculo con la carrocería durante la prueba de impacto frontal se ilustra en la Figura 20. La precisión está asegurada ya que la energía total permanece constante y la energía del Hourglass no supera el 10 % de la energía interna.

El balance energético es un método para evaluar la corrección del análisis numérico. La energía cinética cae continuamente desde el comienzo de la carrera (tiempo 0 segundos a 0.05 segundos). En el momento instancia de 0,050 segundos. La curva se inclina hacia abajo bruscamente, lo que muestra que la energía es absorbida debido a la fricción deslizante.

Modelos matemáticos para el análisis de impacto frontal

Para el desarrollo de modelos matemáticos y su resolución para análisis de impactos es importante conocer e identificar las leyes y principios matemáticos y físicos que presenta este tipo de fenómeno físico. Para calcular la fuerza de impacto de los cuerpos (estructura y pared indeformable), se utiliza la teoría del impulso y cantidad de movimiento.

Por definición, el impulso es el producto de la carga aplicada sobre un cuerpo y el tiempo de duración, es la cantidad de movimiento (P) y es igual a la masa (m) por la velocidad final (V_e) menos la masa por la velocidad inicial (V_o), considerando que el impacto entre dos vehículos es totalmente inelástico, es decir el coeficiente de restitución (K) es cero. La cantidad de movimiento, es un resultado del impulso, aunque matemáticamente son lo mismo, conceptualmente existen diferencias. La Figura 21, indica diferentes vistas del modelo antes que el vehículo impacte.

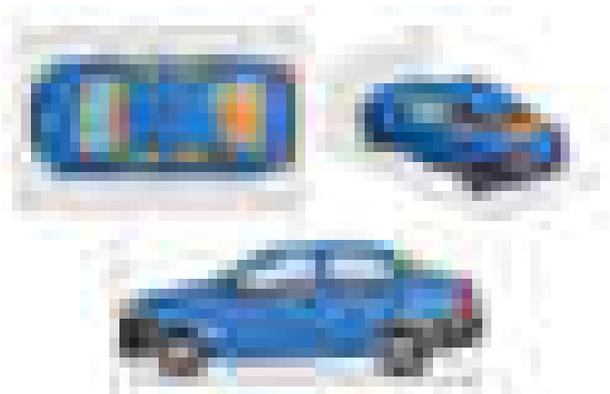


Figura 21. Vehículo sedan se impacta a 56 Km/h.

Diferentes vistas de los cuerpos a impactarse. Choque de los cuerpos totalmente inelástico.

A continuación, se presenta la Tabla 3 con los valores de velocidad, tiempo y masa para el cálculo de la fuerza de choque usando la teoría del impulso y cantidad de movimiento.

Tabla 3. Datos para el cálculo de la fuerza de choque

Concepto	Valor
Velocidad inicial de la barrera fija	Cero
Velocidad del vehículo sedan	56 Km/h
Tiempo de contacto en el choque	50 ms
Masa del vehículo	1085 Kg (m1)
Masa de la barrera fija	70000 Kg (m2)

El análisis matemático se lo realiza en la parte de la pared de fuego del habitáculo de seguridad, donde se determinó que es la zona crítica al momento del impacto, para el habitáculo de seguridad.

Aplicando la teoría del impulso se tiene:

$$P = m \cdot v$$

Donde:

- P: Cantidad de movimiento
- m: Masa
- v: Velocidad

$$F = \frac{P}{t}$$

Entonces se puede calcular la fuerza producida en el choque:

$$F = \frac{m \cdot v}{t}$$

De acuerdo a Duan Sun et al (2016), las fuerzas en un impacto frontal se distribuyen de acuerdo a lo indicado en la Figura 11, en donde indica que la fuerza resultante en el habitáculo de seguridad se encuentra entre un 15% a 20% de la fuerza total.

Para realizar el cálculo sobre la pared de fuego se tomará el 17.5 % de la fuerza total del impacto.

$$F_{hab} = 0.175 \cdot F_{total}$$

Tomando la muestra en una viga, se puede determinar el esfuerzo normal por compresión al cual está sometida la placa, así como su deformación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ec. 8

El área correspondiente a la pared de fuego se determina mediante el largo de 1629.71 mm con 2 mm de espesor, como se muestra en la Figura 22:



Figura 22. Zona de estudio de impacto

Por tanto, el esfuerzo al que está sometida la plancha es:

$$\sigma = F/A = (209414,27) / 3259,42$$

$$\sigma = 64,25 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado se compara con obtenido en la tabla de ensayo realizado. Para los ensayos de tracción se utilizó 5 probetas siguiendo la norma ASTM E8, la figura 23 muestra el detalle de los valores obtenidos.

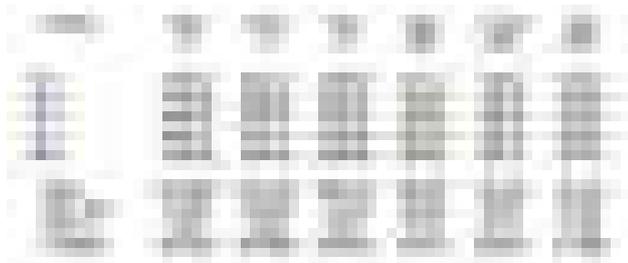


Figura 23. Resultados numéricos previo al Análisis Gráfico. Tomado de LRM

El valor promedio obtenido en los ensayos de tracción tiene un valor de 228,281 MPa, siendo este valor el que servirá para hacer la comparación con el valor obtenido analíticamente.

En la Tabla 4, se presenta la comparación de los valores obtenidos.

Tabla 4. Cuadro comparativo de valores de resistencia

Resistencia del material	Resistencia calculada
228,281 MPa	64,25 MPa

De acuerdo a datos de la tabla el esfuerzo que se aplica en la superficie no supera el límite, por lo tanto, el elemento no ha superado la zona elástica.

Para determinar su deformación total por resistencia de materiales se determina de la siguiente manera:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Ec. 8

Para contrastar los resultados obtenidos analíticamente, se procede de la siguiente forma:

Se procede al modelado de la placa, como lo indica la Figura 24.

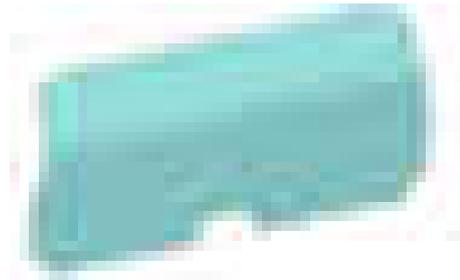


Figura 24. Modelado del elemento

El siguiente paso después de realizar el modelado, es el mallado, donde se aplica el tipo de malla el tamaño como lo indica la Figura 25.



Figura 25. Mallado del elemento

Luego se le asigna las restricciones, en este caso una restricción fija, aplicando la restricción en un extremo de la placa como indica la Figura 26. Luego se aplica axialmente la misma fuerza normal de compresión que se utilizó en el cálculo matemático del método anterior que tiene un valor de 209414,27 N.

En el gráfico, en la escala de valores indica que la parte de color roja (Figura 26) significa que es donde se ejerce la fuerza normal de compresión, es por ésta razón que se genera la mayor deformación y va disminuyendo mientras se acerca al punto de fijación.



Figura 26. Parte de la estructura analizada en software en términos de deformación. Def Max 0,27 mm.

El resultado del cálculo del software es de 0,27 mm de deformación total de la parte analizada por este método.

Análisis por el método del elemento finito

Para este análisis se va a utilizar el método directo, que puede verse como una extensión del método de rigidez, que es ampliamente utilizado en

análisis estructural. Este enfoque tiene una ventaja de presentar los aspectos principales del MEF, sin mucha manipulación matemática, como se muestra en la Figura 27 y 28.



Figura 27. Viga hiperestática con carga puntual.



Figura 28. Elemento estructural a ser analizado

La F representa la fuerza que se aplica al nodo y μ es el desplazamiento del nodo. La discretización ocupada mediante dos elementos lineales, se puede observar en la figura 28. Considérese el elemento de la viga uniforme y homogéneo. Al precisar 3 nodos, existen 3 grados de libertad, de éstos, en el nodo 2, está definido el desplazamiento, el único grado de libertad en fuerzas se define para el nodo 2, además, los dos siguientes nodos están restringidos por tanto su desplazamiento es cero (0), para este caso la Tabla 5 enumera las siguientes variables:

Tabla 5. Variables

Concepto	Valor
Desplazamiento u1	0
Desplazamiento u2	Incógnita
Desplazamiento u3	0
Fuerza F1	Incógnita
Fuerza F2	209414 N
Fuerza F3	Incógnita

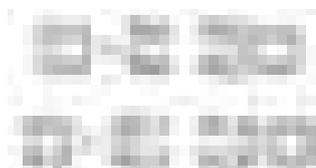
Nota: Valores de cada nodo propuesto para la resolución del ejercicio

La forma general

$$[F]=[K][\mu] \tag{Ec. 10}$$

Dónde: [K] es la matriz de rigidez y $[\mu]$ es el vector de desplazamientos nodales y [F] es el vector de fuerzas nodales.

La notación matricial general para cada elemento con dos grados de libertad.



La matriz de rigidez para cada elemento discretizado que en este caso será una estructura matricial de dos por dos.

Por lo tanto, el valor constante K es:



Por tanto, las matrices para los dos elementos de este caso quedan así:

Para el element 1

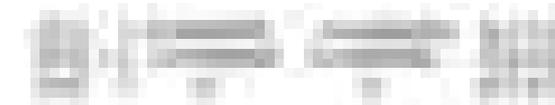


Para el elemento 2



Ensamblando las matrices para tener una matriz de rigidez global se generan las siguientes matrices:

Para el elemento 1 se tiene:



Para el elemento 2 se tiene:



Resolviendo las matrices con el programa Matlab Demo, se obtiene lo siguiente:



Figura 29. Cálculo de operaciones entre matrices realizado en Matlab Demo.

De acuerdo a los datos obtenidos en el software Matlab el desplazamiento calculado es de:

$$u_2 = 0.2529 \text{ mm}$$

Los datos obtenidos en referencia al desplazamiento son similares, para ello se lo compara en la Tabla 6:

Tabla 6. Comparativo de resultados obtenidos con diferentes métodos

Materiales - Esfuerzo deformación	Software MEF directo	Elementos finitos método
0,252 mm	0,27 mm	0,2529 mm

4. Resultados y Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes métodos, se deduce que los valores son resultados conservadores.

La manera óptima para certificar una simulación computacional, será realizar un experimento físico con características parecidas, con condiciones iguales a las programadas dentro del software, pero la misma generaría un análisis costoso. Partiendo de esto no sería rentable realizar una validación física, para lo cual, al presente estudio se realizó de la siguiente manera:

- Validación mediante el método de Energía de Hourglass.
- Validación del fenómeno por elementos finitos método directo

Una vez que no se evidencio mayor margen de error, se procederá a realizar simulaciones con 6 diferentes materiales, empleados a nivel nacional e internacional, que puedan otorgar prestaciones similares o mejores a la obtenida en la probeta.

De acuerdo a Gonzales. (2013), respecto a los tipos de materiales empleados en las carrocerías, el acero ocupa el 75% del peso total, seguido por aluminio, plásticos entre otros.

La Tabla 7, indica los diferentes rangos de límite elástico para diferentes tipos de acero empleados en la fabricación de una carrocería en un vehículo.

Tabla 7. Rangos de límite elástico para los diferentes tipos de acero

Según Ashby y Johnson. (2010), la característica de un acero dulce no aleado convencional, se encuentra en ser laminado en frío con un bajo porcentaje de carbono, siendo un acero prácticamente suave, por esta razón, deben ser de mayores espesores, para soportar esfuerzos a los que se encuentran sometidos, se emplea como láminas para techar paneles automotrices.

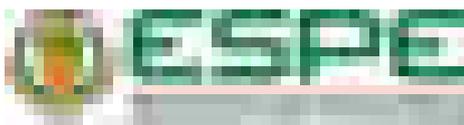
García. (2009), afirma que los aceros de alta resistencia se dividen según el proceso de endurecimiento, es decir en aceros reforzados, micro aleados y desfosforados, que se emplean en la industria automotriz en la fabricación de molduras exteriores, como son, puertas, cofres, techo, o elementos estructurales como bastidores inferiores, refuerzos de suspensión, travesaños, largueros.

De acuerdo a Beneke. (2010), indica que el aluminio es ligero en relación al acero inoxidable, de tal forma que su empleo en la manufactura automotriz, incrementa constantemente, siendo la primera aleación ligera, junto con el titanio y el Magnesio. Otra característica indica al aluminio de producción económica, sin embargo, se encuentra en relación 2:1, con respecto a los aceros.

Flock. (2012), menciona acerca de las diferentes aleaciones del Aluminio en la fabricación de paneles automotrices, e indica que las más utilizadas son aleaciones de AlMgSi y AlMg, especial en los paneles exteriores, debido a las excelentes propiedades de resistencia y conformado, que presenta.

5. Conclusiones

Se evaluó el desempeño del habitáculo de seguridad que brindan protección a los ocupantes de un vehículo en un ensayo computacional de choque frontal sobre una pared rígida mediante una metodología de cálculo



simplificada por el análisis de elementos finitos asistido por computador, que permite evaluar, la correcta interacción estructural y las zonas afectadas en caso de un evento similar al analizado.

La metodología empleada permitió cubrir las hipótesis trazadas para el proyecto que se dividió en 4 etapas, asignación de elementos de estudio, seguido de un modelado 3D, evaluación de materiales y análisis de resultados, que garantizan la confiabilidad y repetitividad del mismo.

Se pudo determinar que, en el habitáculo, por los diferentes desplazamientos y esfuerzos al cual se encontró sometido la estructura, se presentaron deformaciones que no presentan amenaza para los ocupantes al tratarse de un material de tipo Acero, adicional, al ser el impacto absorbido por la parte frontal en su totalidad, disminuye la amenaza para los pasajeros, es decir el riesgo de lesiones es mínima, con la condición que los ocupantes utilicen los cinturones de seguridad.

Se analizó todo el flujo de datos obtenidos en las pruebas en ruta monitoreadas definiendo cada uno de los factores que inciden directamente en el consumo de energía que proporciona el conjunto de batería para con estos factores determinar su autonomía.

Los elementos como el parachoques, el motor y los rieles absorben la mayor parte de la energía antes que el habitáculo de seguridad sea afectado. Una gran proporción de la energía de choque es absorbida por estos componentes después de aproximadamente 0.025seg de la iniciación del choque.

De acuerdo a los datos obtenidos del desplazamiento se concluye que existe una deformación mínima del habitáculo de seguridad, además que si bien hubo intrusión de componentes en la pared de fuego estos son mínimos. Por lo tanto, se puede suponer que los ocupantes de la cabina no sufrirían ningún daño si un componente se introduce en la cabina en caso de colisión.

En gestión para el aprendizaje universitario. Jefe de laboratorio Mecánica de Patio, docente de la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE- Departamento de Energía Y Mecánica

6. Recomendaciones

Sería importante dar continuidad a este tipo de

estudio, realizando una caracterización del material utilizado en las partes laterales y posteriores del vehículo, de tal forma simular choque en alcance y lateral, verificando la seguridad de un vehículo Sedán a este tipo de eventos.

Realizar un acercamiento a GM, de tal forma acceder a planos o escaneos 3D, del vehículo, lo que permitirá disminuir el tiempo en elaboración del modelo, acercándose a un 99% de semejanza, ya que el bosquejo actual, presenta de un 60 a 70 %, además, sería importante conocer las características mecánicas de los materiales empleados en el habitáculo, lo que evitaría realizar probetas bajo normativa.

Se observó buenos resultados, utilizando otro tipo de aceros en el habitáculo de seguridad, indicando que pueden ser sustitutos en la elaboración del mismo a excepción de aleaciones.

Con el constante avance de la tecnología digital y empleando Cae, la simulación en el Ecuador, se convertirá en una herramienta esencial y útil en la etapa de diseño, como alternativa rentable conjuntamente con el análisis por elemento finitos.

7. Referencias

- [1] Arechiga, David Alonso García. Evolución de la carrocería.
- [2] Arízaga Cáceres, Edison Reinaldo, & Gómez Rodríguez, Diego Patricio. (2015). Análisis de los sistemas faltantes de seguridad vehicular de la categoría M1 en la norma NTE INEN 034: 2010 y una propuesta de mejora.
- [3] Chen, Hao, Yang, Yali, & Wang, Liangjie. (2015). Vehicle front structure energy absorbing optimization in frontal impact. *Open Mechanical Engineering Journal*, 9(1), 168-172.
- [4] Du Bois, Paul, C. Chou, Clifford, Fileta, Bahig, Khalil, Tawfik, King, Albert, Mahmood, Hikmat, . . . Wismans, Jac. (2000). *Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection*. Southfield, Michigan, EEUU: Automotive Applications Committee, American Iron and Steel Institute.
- [5] Duan, Libin, Sun, Guangyong, Cui, Junjia, Chen, Tao, Cheng, Aiguo, & Li, Guangyao. (2016). Crashworthiness design of vehicle structure with tailor rolled blank. *Structural and*

- Multidisciplinary Optimization, 53(2), 321-338.
- [6] Ghosh, Pronoy, Mayer, Christian, Deck, Caroline, Bourdet, Nicolas, Meyer, Frank, Willinger, Remy, . . . Weber, Jens. (2016). Head Injury Risk Assessment in Pedestrian Impacts on Small Electric Vehicles using Coupled SUFEHM-THUMS Human Body Models Running in Different Crash Codes. Paper presented at the IRCOBI Conference Proceedings.
- [7] Gu, Xianguang, Dai, Jianhua, Huang, Xiaodong, & Li, Guangyao. (2017). Reliable optimisation design of vehicle structure crashworthiness under multiple impact cases. *International Journal of Crashworthiness*, 22(1), 26-37.
- [8] Gu, Xianguang, Sun, Guangyong, Li, Guangyao, Huang, Xiaodong, Li, Yongchi, & Li, Qing. (2013). Multiobjective optimization design for vehicle occupant restraint system under frontal impact. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 47(3), 465-477.
- [9] Jara, Raquel (Producer). (2017, Junio 06). El habitáculo del coche: de la seguridad a la superconectividad. Retrieved from <http://www.seguros.es/blog/el-habitaculo-del-coche.html>
- [10] Millán, Marcos Rodríguez. (2013). Análisis experimental y numérico de la influencia del estado tensional en la deformación de fallo de elementos estructurales de aluminio. Universidad Carlos III de Madrid.
- [11] Mishra, Neeraj Kumar, & Pradhan, Sharad K. (2016). Crashworthiness of a truck cabin using finite element simulation. *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 8(4), 250.
- [12] Morka, Andrzej, Kwaśniewski, Lesław, & Wekezer, Jerry W. (2005). Assessment of passenger security in paratransit buses. *Journal of Public Transportation*, 8(4), 4.
- [13] Muñoz Agudo, Daniel. (2015). Diseño optimizado de elementos estructurales para absorción de energía en choques. Viga con apoyo doble sometida a compresión.
- [14] Nimir, Yassin Lutfi, Abdullah, Kassim, & Lon, Wong Lek. (2014). Assessment of crashworthiness of the frontal part of a local car model. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 9(3-4), 352-362.
- [15] Olivares, Gerardo, & Yadav, Vikas. (2009). Injury mechanisms to mass transit bus passengers during frontal, side and rear impact crash scenarios. Paper presented at the Proceedings of the 21st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.
- [16] Pérez, D Illescas. (2009). Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. Madrid: Universidad Carlos III-Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Mecánica.
- [17] Philip, J, & Mungale, S. (2013). Correlation of test results for ECE-R29 load cases with CAE simulation. Paper presented at the Proc. Altair Technology Conf.
- [8] Portillo, Martin, Chacón, Rubén, Moreno, Miguel, & Ponzo, Francisco Ignacio Bongiorno. (2011). Simulación y análisis de una prueba de choque de un automóvil tipo deportivo, utilizando un software basado en el método de los elementos finitos. *Ciencia e Ingeniería*, 69-78.
- [19] Rosero Añazco, Ramiro Andrés. (2009). Desarrollo de un reglamento técnico referente a elementos de seguridad para vehículos de categoría M1.
- [20] Samaniego Terán, José Daniel. (2014). Lecciones del intervencionismo estatal en el desarrollo industrial del Ecuador: un análisis a partir de la industria automotriz. Quito, Ecuador: Flasco Ecuador.
- [21] Vicente, José Manuel Barrios, Salazar, Andrés Aparicio, Sáez, Luis Martínez, & Álvarez, Antonio García. ESTUDIO DE LA SEGURIDAD DE LOS NIÑOS EN LOS AUTOCARES.
- [22] Wang, Tao, & Wang, Liangmo. (2016). Numerical Simulation and Structural Improvement for the Crashworthiness Capacity of M1 Type Commercial Vehicle. Paper presented at the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.
- [23] Gu, Xianguang, Sun, Guangyong, Li,

- Guangyao, Huang, Xiaodong, Li, Yongchi, & Li, Qing. (2013). Multiobjective optimization design for vehicle occupant restraint system under frontal impact. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 47(3), 465-477.
- [24] Philip, J. and S. Mungale (2013). Correlation of test results for ECE-R29 load cases with CAE simulation. *Proc. Altair Technology Conf.*
- [25] Morka, A., et al. (2005). "Assessment of passenger security in paratransit buses." *Journal of Public Transportation* 8(4): 4.
- [26] AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO "Estadísticas de transporte terrestre y seguridad vial" 2015 [En línea] Recuperado: <http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/estadisticas#Vir5EqxZER> (febrero, 2015)
- [27] AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO" Normas y Reglamentos INEN aplicados al Transporte, Tránsito y Seguridad Vial "[En línea] Recuperado: <http://www.ant.gob.ec/old/index.php/normas-y-reglamentos-inen-aplicados-al-transporte> (febrero, 2015)
- [28] Samaniego Terán, J. D. (2014). Lecciones del intervencionismo estatal en el desarrollo industrial del Ecuador: un análisis a partir de la industria automotriz, Quito, Ecuador: Flacso Ecuador.
- [29] La Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAE). Recuperado de : <http://www.cinae.org.ec/Anuario/anuario2017.pdf>
- [30] ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR [En línea] Recuperado: http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/04/Sector-en-cifras_7-abril-2017-2.pdf
- [31] Arízaga Cáceres, E. R. and D. P. Gómez Rodríguez (2015). Análisis de los sistemas faltantes de seguridad vehicular de la categoría M1 en la norma NTE INEN 034: 2010 y una propuesta de mejora.
- [32] Cueva Chacón, D. G., et al. (2010). "El control en la aplicación de penas y reducción de puntos en contravenciones en la ley orgánica de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial periodo enero-agosto del 2009."
- [33] Pérez, D. I. (2009). "Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera." Madrid: Universidad Carlos III-Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Mecánica.
- [34] Youn, B. D., et al. (2004). "Reliability-based design optimization for crashworthiness of vehicle side impact." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 26(3): 272-283.
- [35] Arechiga, D. A. G. "Evolución de la carrocería."
- [36] Millán, M. R. (2013). Análisis experimental y numérico de la influencia del estado tensional en la deformación de fallo de elementos estructurales de aluminio, Universidad Carlos III de Madrid.
- [37] Pérez, D. I. (2009). "Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera." Madrid: Universidad Carlos III-Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Mecánica.
- [38] Rosero Añazco, R. A. (2009). "Desarrollo de un reglamento técnico referente a elementos de seguridad para vehículos de categoría M1."
- [39] Nimir, Y. L., et al. (2014). "Assessment of crashworthiness of the frontal part of a local car model." *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing* 9(3-4): 352-362.
- [40] Duan, L., et al. (2016). "Crashworthiness design of vehicle structure with tailor rolled blank." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 53(2): 321-338.
- [41] Wang, T. and L. Wang (2016). Numerical Simulation and Structural Improvement for the Crashworthiness Capacity of M1 Type Commercial Vehicle. ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers.
- [42] Gu, X., et al. (2017). "Reliable optimisation design of vehicle structure crashworthiness under multiple impact cases." *International Journal of Crashworthiness* 22(1): 26-37.

- [43] Gu, X., et al. (2013). "Multiobjective optimization design for vehicle occupant restraint system under frontal impact." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 47(3): 465-477.
- [44] Ghosh, P., et al. (2016). Head Injury Risk Assessment in Pedestrian Impacts on Small Electric Vehicles using Coupled SUFEHM THUMS Human Body Models Running in Different Crash Codes. *IRCOBI Conference Proceedings*.
- [45] Mishra, N. K. and S. K. Pradhan (2016). "Crashworthiness of a truck cabin using finite element simulation." *International Journal of Vehicle Structures & Systems* 8(4): 250.
- [46] Chen, H., et al. (2015). "Vehicle front structure energy absorbing optimization in frontal impact." *Open Mechanical Engineering Journal* 9(1): 168-172.
- [47] Muñoz Agudo, D. (2015). Diseño optimizado de elementos estructurales para absorción de energía en choques. Viga con apoyo doble sometida a compresión.



³Bryan Briceño - Magíster en Diseño Mecánico, Universidad Internacional SEK, Ecuador. Ingeniero Mecánico Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador. Docente Tiempo Completo de la Facultad de Energía de las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja.



⁴Diego Cuasapud. - Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica América, graduado de Magíster en Diseño Mecánico en la Universidad Internacional SEK del Ecuador. Actualmente trabaja en TECNOREV, empresa dedicada a mantenimientos de vehículos automotores, donde se desempeña como Gerente Propietario.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	18 Agosto 2020
Fecha aceptación	18 diciembre 2020

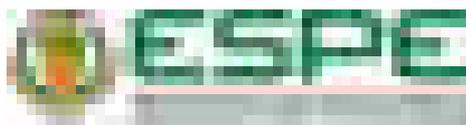
8. Biografía



¹Edwin Chamba Monar. MBA - M.Sc. Diseño Mecánico, Universidad Internacional SEK. Ingeniero Automotriz, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Trabaja en CELEC EP, brindando servicios administrativos y de asesoramiento en mantenimiento de flotas vehiculares y compras públicas.



²Andrés Cárdenas Yánez. MBA - M.Sc. Diseño Mecánico, Universidad Internacional SEK. Ingeniero Automotriz, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Director Administrativo - Docente a Tiempo Completo de la Carrera de Mantenimiento y Reparación de Motores a Diésel y Gasolina del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi – Latacunga.



SISTEMA MÓVIL DE EXTRACCIÓN DE GASES DE ESCAPE EN UN LABORATORIO-TALLER AUTOMOTRIZ**MOBILE EXHAUST GAS EXTRACTION SYSTEM IN A LABORATORY-AUTOMOTIVE WORKSHOP**Fernando Gomez¹, Alex Llerena², Adolfo Peña³^{1,2,3}. Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ciencias Técnicas, Escuela de ingeniería Automotriz
e – mail: ¹magomezbe@uide.edu.ec , ²alllerename@uide.edu.ec ³ajpena@uide.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 8 (10)

Resumen

Un taller automotriz está sometido a elevadas cargas de ambiente contaminante, especialmente los gases contaminantes de monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NOx), dióxido de carbono (CO₂), compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros gases que se muestran al realizar actividades de mantenimiento y pruebas de funcionamiento en los vehículos y/o bancos didácticos del Área de Mecánica Automotriz, por lo que el uso de un sistema de evacuación de estos desechos es necesario para preservar la salud de las personas que se encuentran dentro de este ambiente laboral, la cual es sujeta a las normativas nacionales e internacionales. En este artículo se analizan varios aspectos para determinar el diseño, los elementos y requerimientos de un sistema de extracción móvil de gases. Al utilizar el extractor de gases de escape se estimó la disminución del porcentaje del contenido de gases contaminantes en el ambiente al interior del taller.

Palabras Clave: Sistema de extracción, Gases contaminantes, Normativas, Talleres automotrices.

Abstract

An auto shop is subjected to high loads of polluting environment, especially polluting gases of carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NOx), carbon dioxide (CO₂), volatile organic compounds (VOC) and other gases shown when carrying out maintenance activities and operational tests on vehicles and / or didactic benches in the Automotive Mechanics Area, so the use of an evacuation system for these wastes is necessary to preserve the health of the people who are inside this work environment, which is subject to national and international regulations. In this article several aspects are analyzed to determine the design, elements and requirements of a mobile gas extraction system. When using the exhaust gas extractor, the percentage decrease in the content of polluting gases in the environment inside the workshop was estimated

Keywords: Extraction system, Pollutant gases, Regulations, Automotive workshops.

1. Introducción

La elaboración y aplicación de un análisis técnico para la implementación de un sistema de extracción de gases, siguiendo un proceso lógico y ordenado que se indaga mediante métodos científicos, ha sido probado por algunas investigaciones similares, que han demostrado su validez y confiabilidad, para poder ser usados como sistemas de extracción de gases [1], [2], [3]. La fundamentación teórica del trabajo se basa en investigación de temas concernientes al sistema, con el apoyo de teorías existentes que sustenten la práctica en el tratamiento de gases contaminantes producidos dentro de las instalaciones, con ello permitir que los lectores de este conozcan sobre conceptos y términos ligados al tema abordado. [4] [5], [6] Esta investigación se efectúa con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre la instalación de sistemas de extracción de gases, como dispositivo para tratamiento de gases contaminantes dentro de las instalaciones, ya que se estaría indicando que el uso de estos sistemas mejora el ambiente de trabajo.

1.1. Emisión de gases vehiculares a través del tubo de escape

La mayor parte de los gases contaminantes del automóvil son emitidos a través del tubo de escape. En este sentido, tres son los más destacados. [7],[8],[9]

Oxido de nitrógeno (NO): es una sustancia que es generada cuando el nitrógeno entra en contacto con el oxígeno en condiciones de alta presión y temperatura, proceso este que sucede en el interior del motor. Son responsables de la formación de esmog, un tipo de nube contaminante, y de la lluvia ácida.

Hidrocarburos(HC): Las emisiones de hidrocarburos resultan cuando no se quema completamente el combustible en el motor. Existe una gran variedad de hidrocarburos emitidos a la atmósfera y de ellos los de mayor interés, por sus impactos en la salud y el ambiente, son los compuestos orgánicos volátiles (COV). [10],[11] [12]

Monóxido de carbono (CO): Es un producto de la combustión incompleta y ocurre cuando el carbono en el combustible se oxida sólo parcialmente. [13][14] [15] En la Figura 1 se puede observar el porcentaje de gases emitidos por los escapes de un vehículo de combustión interna tipo Otto [16][17][18]



Figura 1. Composición de los gases contaminantes Motores Otto

La carga mundial de morbilidad es evaluada por la OMS con el fin de ofrecer una imagen completa de la situación mundial de la salud utilizando los Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD) como una nueva medida de utilidad para cuantificar las pérdidas de vida sana. [20][21][22] Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como de los niveles de contaminación perjudiciales para la salud. [23][24][25] En 2016, el 91% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las Directrices de la OMS sobre la calidad del aire. [26] [27]

1.2. Talleres y laboratorios automotrices

Taller mecánico (Figura 2). Es un establecimiento donde uno o más técnicos especializados (llamados mecánicos) reparan automóviles, motocicletas y otros vehículos.



Figura 2. Taller Mecánico [17]

1.3. Normativa de control

La exposición a las emisiones de escape del vehículo puede causar serios problemas de salud a los usuarios del taller. [28]

En un taller automotriz podemos hallar contaminantes ambientales muy perjudiciales como: monóxido de carbono producidos por gases de

motores, que a la exposición de un tiempo prolongado sus efectos son irreversibles. La exposición a gases de escape es muy peligrosa y deben inspeccionarse permanentemente las indicaciones de gestión de seguridad y tomar como referencia lo que manifiestan los expertos sobre el tema: [29][30]

OSHA - La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional ha definido un límite de exposición permitido de una parte de benceno por millón de partes de aire (1 ppm) en el lugar de trabajo durante un día laboral de 8 horas, semana laboral de 40 horas.

La EPA ha clasificado el benceno como un carcinógeno del Grupo A.

NIOSH - El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional, establece que no puede haber un nivel seguro de exposición a un carcinógeno; por lo que el "nivel más bajo posible" corresponde al valor límite umbral de NIOSH.

Los CDC - Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades han mencionado que los gases de escape de un vehículo con un incorrecto mantenimiento exponen graves riesgos. El escape de automóviles ventilado en espacios confinados es la fuente más común de monóxido de carbono (CO₂). Por tal motivo es importante proporcionar una correcta ventilación y prevenir la acumulación de monóxido de carbono en espacios confinados (espacios con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que se pueden acumular contaminantes tóxicos).

Normativa de la CEE. El Consejo de la CEE ha adoptado desde 1978 diversas resoluciones y directivas sobre seguridad y salud laboral, al tiempo que ha creado un Comité Consultivo sobre Seguridad, Higiene y Protección de la Salud en el Trabajo.

Con fecha 16-12-1988 se publicó una modificación (88/642/CEE) en la que se incluían definiciones de conceptos y procedimientos y con fecha 12-6-1989 una nueva directiva relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo (89/391/CEE) que detalla de una manera más concreta las obligaciones de empresarios y trabajadores en este sentido y que actúa de directiva marco.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha establecido una norma federal para la calidad de aire ambiental (al aire libre) con respecto al CO de 9 ppm para una

exposición de 8 horas y de 25 ppm para una exposición a corto plazo (1 hora).

En la Figura 3 se puede observar las concentraciones de CO calculadas que produce un motor de gasolina de 4 ciclos y 5 caballos de fuerza en un salón de 283 metros cúbicos (10.000 pies cúbicos) con varios cambios de aire por hora.



Figura 3. CO que produce un motor de gasolina [26][27]

Las actividades que se desarrollan en un taller mecánico ocasionan sobre todo consumo de recursos, tanto de agua, energía, combustibles, también generan contaminación de aguas por medio de vertidos de aceites, aguas petroleadas, etc.; y de la atmósfera con la emisión de gases y también generan residuos.

1.4. Sistemas móviles de Extracción de Gases

La calidad del aire en el entorno de trabajo dentro de los talleres es la principal prioridad a la hora de fabricar productos que permitan a los operadores trabajar en espacios limpios que protejan su salud. La innovación de los productos de extracción permite un mayor rendimiento en el trabajo y una optimización de los tiempos, aumentando la productividad del taller.

Estos sistemas permiten la evacuación de los gases de escape de la zona de trabajo, sin necesidad de disponer de una instalación permanente. Denominados también aspiradores móviles para la evacuación de los gases de escape (Figura 4).



Figura 4. Sistemas móviles para la extracción de gases de escape

Hay varias versiones en el mercado y varían según su diseño y su costo, por ejemplo, existe una gama que se compone de 4 versiones, cada una correspondiente a específicas características de aspiración:

- Una versión para turismos.
- Una para furgonetas (V).
- Una versión para camiones (T).
- Una versión para motos (M).

Cada modelo de este tipo de extractor de gases móvil debe ser completado con un tubo de expulsión de 10 m para lograr un correcto funcionamiento.

2. Materiales y Métodos

2.1. Cálculo del caudal de gases de escape

Un factor de mucha importancia en este tipo de cálculos es la determinación del tamaño correcto de la cantidad de gases de escape para el motor. Cada extractor está diseñado para un flujo de gases. La adaptación de cualquier dispositivo debería considerar el flujo producido por el motor y la capacidad del extractor.

El fabricante del motor normalmente avisa o tiene la información técnica sobre el flujo CFM (en inglés Cubic Feet per Minute) de aire que consume ese motor.

Cuando no se dispone del flujo exacto, se puede utilizar la regla general de potencia (HP) x 2.5. Esto nos da un valor de flujo aproximado.

Si queremos calcular el CFM (Pies Cúbicos por Minuto) específico para un motor a 4 tiempos podemos multiplicar las pulgadas cúbicas de cilindrada por las

máximas revoluciones (a las cuales se obtiene el par motor y potencia máximos), dividir esto por 3456, y multiplicarlo por la eficiencia volumétrica del motor.

La eficiencia volumétrica es un factor determinado por algunas condiciones y/o especificaciones del motor, como: la eficiencia del turbo, los sistemas electrónicos de inyección y variación de aperturas de válvulas.

Un motor a gasolina normalmente tiene una eficiencia volumétrica de 0.70 a 0.80, pero buenos controles electrónicos pueden subir ese valor a más de 2.0.

Un motor a diésel (2 tiempos o 4 tiempos) posee una eficiencia volumétrica de 0.90.

Un Turbo aumenta la eficiencia volumétrica a 1.50 a 3.00. Se recomienda usar un valor de 3.00 cuando no conocemos el valor.

Para simplificar los cálculos, se puede usar directamente un calculador desarrollado por Widman International SRL

Ejemplo de aplicación para estimar el flujo de gases de un vehículo Mazda 3 de 1600cm³:

- Seleccionar la medida que quiere usar: Centímetros Cúbicos (ejemplo: 1400)
- Digitar la máxima velocidad (RPM) que quiere usar el cálculo (ejemplo: 6000, que corresponden el número de revoluciones por minuto a la que este tipo de motor proporciona la máxima potencia, que se va a probar el motor durante su funcionamiento en el caso de pruebas en el Dinamómetro)
- Seleccionar el tipo de motor entre las cuatro opciones, o seleccionar "Digitar un valor específico" y anotar el valor conocido (ejemplo: 0.8). Cuando selecciona un tipo de motor, los valores máximos serán usados.
- Obtenemos la respuesta en CFM y litros por minuto (Figura 5).

Para esto se consideran las características de los gases de escape:

- Temperatura salida: 900/950°C.
- Presión de salida: 2 bares.
- Caudal volumétrico (depende de los cm³. y las rpm, en nuestro caso de prueba, un 1600 cm³ a

6.000 rpm)
Caudal másico (depende de la densidad)

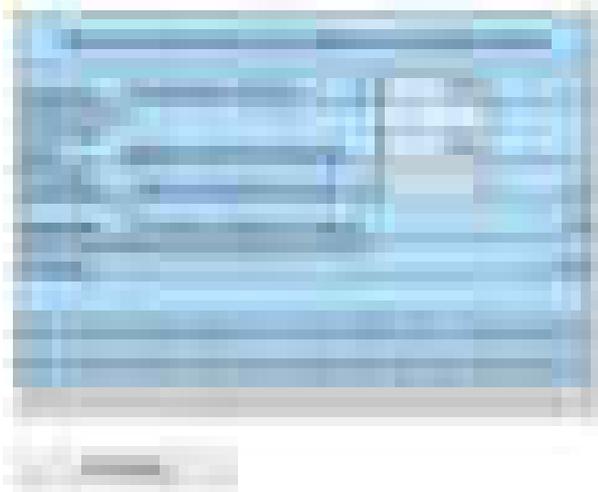


Figura 6. Obtención del flujo de gases de escape

Una vez determinado el flujo de gases podemos escoger cualquier sistema que cubre ese volumen de gas o más. Por ejemplo, si necesitamos 400 CFM para nuestro motor, podemos escoger un sistema de extracción diseñado para 400 CFM, 500 CFM, 600 CFM, etc., pero nunca uno diseñado para menos flujo.

Para validar los datos que se obtienen se compararon los resultados con investigaciones referentes, donde se determina el caudal de gases de escape en diferentes vehículos y usando otros métodos de medición. Por ejemplo: La medida de caudal a través de pruebas de adquisición a 1 KHz que permitió ver completamente la onda de caudal que ocurre durante el ralenti por el consecutivo abrir y cerrar de las válvulas de escape del motor (la frecuencia de oscilación del caudal para un motor de 4 tiempos es de aprox. $28 \text{ Hz} = 2 \times \text{rpm}$ en ralenti). El caudal real así medido se muestra en la Figura 6. [19]



Figura 7. Gráfica de caudal instantáneo medido con caudalímetro MIVECO. Turismo Peugeot 406 Diesel 2L

2.2. Análisis de los factores influyentes

Residuos de la mecánica automotriz. Efectuar un mantenimiento o una reparación automotriz conlleva a la generación de subproductos como el repuesto reemplazado, el lubricante usado, los materiales de limpieza usados en el servicio, la suciedad del vehículo y los efectos indeseables, como el ruido. Los residuos por su efecto al ambiente pueden ser clasificados como residuos no peligrosos y peligrosos.

Residuos no peligrosos: Entre ellos tenemos los embalajes de repuestos, suciedad adherida al vehículo, limallas y otros. Estos residuos son directos, mientras que los desechos indirectos pueden ser el papel generado para la documentación del trabajo, los materiales desgastados (material de oficina, consumibles de la edificación, herramientas). Debemos tomar en cuenta que gran parte de estos residuos pueden ser reaprovechados mediante la reutilización o reciclaje.

Residuos peligrosos: Son aquellos que pueden conllevar un riesgo a la salud o contaminar el medio donde se encuentran.

La contaminación ambiental también se produce por causa de varios desechos de talleres automotrices, lo que origina la problemática actual debido a la cantidad de vehículos que circulan en las ciudades grandes. Los principales desechos son: derivados del petróleo, líquidos de freno, refrigerantes de motores, ácidos de batería y neumáticos usados.

- Humedad y temperaturas extremas.
- Cambios bruscos de temperatura.
- Corrientes de aire molestas.
- Olores desagradables.

3. Resultados y Discusión

3.1. Sistema de extracción móvil de gases

El sistema que se propone tiene como finalidad la disminución del exceso de gases de escape, de tal modo que en el taller se trabaje con los motores encendidos sin que exista un espacio peligroso de trabajo y sin crear molestia a otras secciones de este.

Se diseña el extractor para que se pueda conectar, principalmente los vehículos, con la más alta eficiencia de extracción de gases de estos.

Los resultados obtenidos de caudal son de un solo motor, lo que se desea es que el sistema funcione de

esta manera, así que éste deberá soportar el caudal máximo resultante.

3.2. Sistema de extracción móvil de gases

Se ha tomado en cuenta para el cálculo dos motores de cilindrada 1400 y 1600 cm³, correspondientes al vehículo Chevrolet Sail 1.4L y al vehículo Mazda 3 1.6L respectivamente.

En la Figura 7 se puede evidenciar los vehículos que son usados en el taller para las pruebas en el dinamómetro, donde se producen las mayores cantidades de emisiones del gas de escape en el taller, lo que puede causar daños en diferentes aspectos afectando de manera directa la salud de los estudiantes que realizan prácticas, y acumulándose en el lugar.



Figura 7. Vehículo Chevrolet Sail

Se obtendrá el caudal y velocidad de gases de escape del motor tanto para el vehículo mayor cilindrada 1600 cm³ como para el de menor cilindrada 1400 cm³, según datos proporcionados por el fabricante en la Tabla 1 y Tabla 2.

Se ha tomado en cuenta que en un ciclo de trabajo el volumen de gases de escape es igual a la cilindrada total teóricamente hablando, debido a que este volumen es el que se admite al interior de todos los cilindros del motor, sin embargo, un motor a gasolina aspirado tiene una eficiencia de llenado del 60 al 100% y en motores sobrealimentados supera el 100%.

Tabla 1. Especificaciones del vehículo Chevrolet

Especificación	Dato
Combustible	Gasolina
Potencia	102 a 6.000 (CV/rpm)
Torque máximo	13,3 a 4.200 (kgm/rpm)
No. de cilindros	cuatro en línea
Diámetro x Carrera	79,8 x 81,8 (mm)
Cilindraje	1.398 (cm ³)

Tabla 2. Especificaciones del vehículo Mazda

Especificación	Dato
Combustible	Gasolina
Potencia	105 a 6.000 (CV/rpm)
Torque máximo	145 a 4000 (Nm/rpm)
No. de cilindros	cuatro en línea
Diámetro x Carrera	78 x 83.6 (mm)
Cilindraje	1598 (cm ³)

Como se puede observar a continuación, en la Tabla 3 los resultados de caudal y de velocidad obtenidos al utilizar un mayor número de revoluciones por minuto, estos datos se obtuvieron para el motor de 1600 centímetros cúbicos (1.6L), donde puede observarse la variación de estos según la cantidad de rpm.

Tabla 3. Caudal y velocidad de los gases de escape de un motor de 1600 cm³ variando las revoluciones

RPM	Q (m ³ /min)	Velocidad (m/s)
1500	1,20	9,066
2000	1,60	12,088
3000	2,40	18,131
4000	3,20	24,175
5000	4,00	30,219
6000	4,80	36,263

Para no tener que variar el diseño se considera la velocidad calculada para 6000 revoluciones por minuto (rpm), que es el valor máximo al que se prueban los motores en el taller.

En la Tabla 4 se puede observar los caudales y velocidades de gases de escape de los motores mencionados anteriormente y otros de cilindrada diferente, para hacer una comparación.

Tabla 4. Caudal y velocidad de los gases de escape de los motores con varias cilindradas.

CILINDRADA	RPM	Q (m ³ /min)	Velocidad (m/s)
1200	6000	3,60	27,197
1400	6000	4,20	31,730
1500	6000	4,50	33,996
1600	6000	4,80	36,263
2000	6000	6,00	45,328
3000	6000	9,00	67,993

A continuación, se estima los diferentes caudales y velocidades con respecto a las revoluciones por minuto del motor iniciando en 1500 hasta 6000 (rpm) en este caso para un motor de cilindrada de 1600 cm³,

en el ejemplo aplicando la teoría y los datos obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Datos obtenidos del caudal en función de las rpm

Velocidad del motor (rpm)	RPS	Caudal unitario	Q total (m ³ /s)	CFM
1500	25,00 0	,0050 0	,0200	42,38
2000	33,33 0	,0067 0	,0267	56,50
3000	50,00 0	,0100 0	,0400	84,76
4000	66,67 0	,0133 0	,0533	113,01
5000	83,33 0	,0167 0	,0667	141,26
6000	100,00 0	,0200 0	,0800	169,51

En la Figura 8 se observa los valores del caudal en CFM como va aumentando en función de las revoluciones del motor, hasta alcanzar un valor de 169.51 CFM a 6000 RPM.



Figura 8. Comparación entre el caudal y las revoluciones del motor.

Para el diseño de esta propuesta, se toma en cuenta el sistema de tipo móvil que puede observarse en la Figura 9, ya que es el más sencillo y práctico, tomándose en cuenta que, gracias a las características de los gases, estos saldrán por impulso propio hacia el exterior del taller.



Figura 8. Comparación entre el caudal y las revoluciones del motor.

4. Conclusiones

La extracción de los gases de escape es la mejor manera para eliminar los gases y humos presentes en los talleres debido a las diferentes actividades que se realizan en el motor en lugares en donde no existe una buena evacuación de gases de forma natural.

Con el uso de un sistema de extracción de gases de escape móvil, durante el desarrollo de las prácticas se cumple con las regulaciones y normativas sobre extracción de gases en talleres, evitando posibles problemas de salud en los usuarios del taller.

Durante la instalación y prueba del sistema de extracción de gases de escape, se consideraron los aspectos técnicos relevantes para mejorar la calidad del ambiente dentro de las instalaciones y se determinó la importancia que tienen factores como el tipo de motor, cilindrada del motor, ventilación del espacio interior.

Al utilizar el extractor de gases de escape se estimó la disminución del porcentaje del contenido de gases contaminantes en el ambiente al interior del taller, en lo referente a CO y HC, obteniendo una reducción del 100% del porcentaje de Monóxido de Carbono en marcha mínima (Ralentí) y un 100% en máxima carga (Máxima Potencia) y una reducción en lo referente a Hidrocarburos del 91 al 93% en máxima carga y 100% en carga mínima.

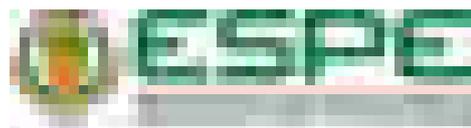
La razón más importante es la salud laboral que ha llevado a que algunos talleres incorporen sistemas de evacuación de gases de escape dentro de sus instalaciones. Al ser absorbidos los gases de escape desde su origen (salida del sistema de escape), se impide que dichos gases circulen dentro del taller minimizándolos posibles efectos sobre las personas.

5. Referencias

- [1] Aránguez, E. O.-P. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. Revista española de salud pública, 73, 123-132.
- [2] Arias, F. (2008). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas: Editorial Texto, C.A.
- [3] Austria, V. E. (2009). Proyecto para la seguridad industrial en las subestaciones eléctricas rectificadoras de la línea b del stc metro de la

ciudad de México.

- [4] Best, J. (2008). *Cómo investigar en educación*. Madrid: Ediciones Morata.
- [5] Bosch. (2008). *Manual de técnica del automóvil*. Buer&Parnet: Alemania.
- [6] Bosch. (2009). *Manual de la técnica del automovil*. Barcelona: Reverte S.A.
- [7] Catálogo Bosch. (2013). Recuperado el 2014, de http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF_es/Inyecci%C3%B3n/Sistemas_d_e_Inyecci%C3%B3n.pdf:
- [8] Cevallos, M. P. (2018). Determinación de los gases contaminantes CO y HC, en fuentes móviles a gasolina en el cantón la Mana, provincia de Cotopaxi. *Ciencia Digital*, 2(4.2.), 115-151.
- [9] Costa Gómez, I. (2016). Estudio de la concentración de compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y ozono en el núcleo urbano de la ciudad de Cartagena y evaluación de la exposición de la población. Proyecto de investigación.
- [10] Crouse, W. (2008). *Mecanica del Automovil*. Barcelona: McGraw-Hill .
- [11] De Castro Vicente, M. (2008). *Inyección y encendido*. Barcelona: CEAC.
- [12] Del Castillo, Á. (2008). *18 Axiomas Fundamentales de la Investigación de Mercados*. La Coruña: Netbiblo.
- [13] Diccionario de la Real Academia Española. (01 de 01 de 2014). Real Academia Española. Recuperado el 03 de 02 de 2014, de <http://lema.rae.es/drae/?val>
- [14] Doblado, Ó. B. (2015). *Logística y comunicación en un taller de vehículos*. Ediciones Paraninfo, SA.
- [15] Ecuador, M. d. (2014). *Norma de Calidad del Aire Ambiente*. Obtenido de www.legal.gen.ec/Acuerdo-050-Reformas
- [16] Ehlers, J. J. (s.f.). *Prevención de envenenamiento con monóxido de carbono producido por herramientas y equipos con motores pequeños de gasolina*.
- [17] Estrada Torres, D. M. (2015). *Diseño e implementación del sistema para reducción y contaminación auditiva y por emisiones en el taller IMA*. (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- [18] Excellence, I. (2016). *ISOTools Excellence*.
- [19] Fonseca, N. E. (2009). *Problemas asociados a la medida de emisiones másicas instantáneas en motores de vehículos*.
- [20] Fracica, G. (1988). *Modelo de simulación en muestreo*. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- [21] Gallegos, W. L. (2012). *Revisión histórica de la salud ocupacional y la seguridad industrial industrial*. *Revista cubana de salud y trabajo*, 13(3), 45-52.
- [22] Google Maps. (01 de Noviembre de 2013). *Google Maps*. Obtenido de Ciudad de Guayaquil: <https://www.google.com.ec/maps/preview?hl=es>
- [23] Grima, R. L. (2011). *Manual de seguridad y salud para operaciones en talleres mecánicos y de motores térmicos*. Servicio De Prevención De Riesgos Laborales Sprl-Upv.
- [24] Grupo Bosch. (2000). *Manual práctico del automóvil - reparación, mantenimiento y prácticas*. Madrid: Grupo cultural.
- [25] MAE. (2015). *Norma de calidad del aire ambiente*. Ministerio del Ambiente Ecuador.
- [26] NIOSH. (2015). *Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional*.
- [27] NIOSH (Diciembre de 1996). www.cdc.gov. Recuperado el 07 de Abril de 2015, de http://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/96-118_sp/OMS.
- [28] Peña Chávez, C. &. (2017). *Propuesta de mejora del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo según la norma OHSAS 18001: 2007 para reducir el número de accidentes de la empresa TESG SRL*. (Tesis Parcial).



[29] Rodríguez, J. (2013). http://www.ehowenespanol.com/historia-del-carburadorhechos_103090/. Recuperado el 21 de Febrero de 2014, de http://www.ehowenespanol.com/historia-del-carburador-hechos_103090/: http://www.ehowenespanol.com/historia-del-carburador-hechos_103090/

[30] Sánchez Cabrera, W. X. (2011). Estudio de prefactibilidad para la creación e implementación de una empresa proveedora de equipos de protección personal, en seguridad industrial y salud ocupacional para las industrias de Milagro.



³Adolfo Juan Peña Pinargote Máster en Gerencia en Innovaciones Educativas de Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Ingeniero Automotriz de Escuela Politécnica del Ejército; estudios actuales de Doctorado en Humanidades y Artes con Mención en Ciencias de la Educación en Universidad Nacional de Rosario - Argentina, además de estudio de “Maestría en Diseño Mecánico” en Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

6. Biografía



¹Manuel Fernando Gómez Berrezueta. - Ingeniero Mecánico Automotriz (Universidad Politécnica Salesiana), Maestro en Ingeniería Automotriz (Tecnológico de Monterrey, Toluca), Doctorando en Ciencias de la Ingeniería (Tecnológico de Monterrey, Ciudad de México), Doctorando en Educación (Universidad de Rosario), Docente – Investigador UIDE-Sede Guayaquil, Consultor - Asesor Técnico Área Ingeniería Automotriz, Miembro: RELIEVE (Red Latinoamericana de Investigación en Energía y Vehículos), Trabajó en varios proyectos de Investigación Internacionales. Becario SENESCYT.



²Alex Fernando Llerena Mena. Master of Science in Mechatronic Engineering – Vehicle informatics, Obuda University- Budapest; Ingeniero Mecatrónico, Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE Latacunga; Supervisor Electrónico, Asistente Mecánico, Asesoramiento de proyectos, Docente de la Universidad Internacional del Ecuador. Producción científica de: artículos científicos relacionados al área mecánica y electrónica; ponencias nacionales e internacionales.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	02 octubre 2020
Fecha aceptación	02 diciembre 2020

TRUCAJE DE LOS ELEMENTOS FIJOS DEL MOTOR NISSAN J15 PARA CONTRIBUIR EN LA OPTIMIZACIÓN SUS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO

MODIFICATION OF THE FIXED ELEMENTS OF THE NISSAN J15 ENGINE TO CONTRIBUTE IN THE OPTIMIZATION OF ITS PERFORMANCE PARAMETERS

González Heras David Moisés¹, Lozada Chiguano, Jhon Roberto², Marcelo Fabián Salazar Corrales³
^{1,2,3}Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
e – mail: ¹dmgonzález@espe.edu.ec.com , ²jhonxbeto618@gmail.com , ³mfsalazar@espe.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 9 (10)

Resumen

El presente artículo se centró en la modificación de los elementos fijos de un motor Nissan J15 de combustión interna, tales como; culata, block de cilindros y colectores de admisión y escape, que consiste en cambiar las características de los componentes, tales como; dimensiones y terminados superficiales, mismos que influyen en los factores de funcionamiento del motor.

Para lo cual seguido de los trabajos prácticos realizados en los elementos fijos se realizan pruebas posteriores a los mismos, siendo estas concretamente; compresión, tiempo de recorrido del aceite en las paredes del bloque, temperatura del aceite, además se realiza una simulación en software CAD para conocer cuál es el comportamiento del aire en los conductos trabajados de la culata.

Y como punto final se presenta una comparación y análisis de los resultados evidenciados en las pruebas y mediciones realizadas en el motor estándar y el modificado.

Palabras Clave: Nissan J15, Trucaje elementos Fijos, Flujo de aire, reforzamiento bancada.

Abstract

This article focused on the modification of the fixed elements of a Nissan J15 internal combustion engine, such as; cylinder head, cylinder block and intake and exhaust manifolds, which consists of changing the characteristics of the components, such as; dimensions and surface finishes, which influence the engine operating factors.

For which, followed by the practical work carried out on the fixed elements, subsequent tests are carried out on them, these being specifically; compression, oil travel time on the block walls, oil temperature, and a simulation is performed in CAD software to know what the behavior of the air is in the worked ducts of the cylinder head.

And as a final point, a comparison and analysis of the results evidenced in the tests and measurements carried out on the standard and modified engine is presented.

Keywords: Nissan J15, Fixed elements trucking, Air flow, bench reinforcement

1. Introducción

El trucaje de motores consiste en la modificación de la estructura o el diseño de los componentes estándar de un motor, llevando a cabo un cambio en sus características como; la rugosidad de su superficie y el factor de seguridad a cambio de conseguir el máximo potencial o un mejor rendimiento en el motor. [1].

Fundamentalmente adecua los componentes para obtener su máximo rendimiento posible, a diferencia de la preparación, la cual consiste en reemplazar los componentes estándar del motor, por otros con mejores características y con un más alto costo.

El trucaje es posible, porque los motores contruidos por el hombre tienen la ventaja de que pueden ser mejorados en algunos sentidos. Así pues, todos los motores tienen unos márgenes de seguridad que sus creadores han calculado sobredimensionando todas las piezas para que puedan soportar todos los esfuerzos que se les van a exigir, y posibles sobrecargas que podrían ocasionarse en el caso de verse el motor necesitado de trabajar en condiciones adversas. Así pues. Este margen de seguridad intenta significar una garantía en el caso de un tiempo de funcionamiento más largo del que podría considerarse habitual. Funcionando a plenos gases, un entretenimiento poco cuidadoso de las normas que el motor requiere, el fallo parcial de algunos de los circuitos vitales para el motor que puedan sufrir momentáneos desarreglos o trastornos, etc. Cabe la posibilidad de apurar este margen de seguridad sometiendo al motor a mayores esfuerzos los cuales no serán nocivos para el mismo si éste es rigurosamente atendido, pudiéndose lograr de esta forma un considerable aumento de potencia, estas modificaciones realizadas sobre el motor es lo que constituye su trucaje. [2]

En los motores de combustión interna en general, la potencia no puede ser aumentada nada más que en la misma medida en que se consigue aumentar su consumo de aire, esto quiere decir que lo único que mejora el desempeño de un motor es aumento en la capacidad de llenado del cilindro. Por esta razón una de las modificaciones más comunes es aumentar la presión media efectiva. [3]

El rendimiento volumétrico es también conocido como el coeficiente de llenado, siendo la representación de la eficiencia del llenado de los cilindros y se encuentra definida por la relación de la masa de aire fresco que ingresa al motor por ciclo y la masa teórica que ingresaría en unas condiciones dadas, este valor

está expresado en porcentaje. [4]

La misión de un motor de combustión interna de cuatro tiempos es convertir la energía calorífica del combustible en energía mecánica, para que la combustión se establezca de manera eficiente la mezcla aire/combustible debe mezclarse perfectamente en cantidades establecidas. El incremento de la potencia se relaciona directamente con la cantidad de aire u oxígeno que ingresa al motor, es decir si se eleva la cilindrada del motor, se aumentará la potencia del mismo. [5]

- Aumento de cilindrada
- Aumento de la presión media Efectiva

El objetivo del presente proyecto es realizar modificaciones en los elementos fijos del motor Nissan J15, para que los mismos contribuyan en los parámetros de rendimiento, al igual que soporten las nuevas fuerzas producto de la combustión.

Para lo cual se mostrará cuáles fueron las modificaciones realizadas a cada uno de los elementos fijos del motor y además de las pruebas realizadas en los mismos para conocer sus porcentajes de mejoras.

2. Materiales y Métodos

Se pone a prueba el análisis experimental por medio de las modificaciones a realizarse en los elementos fijos del motor Nissan J15 como son culata, bloque, y sistema de escape.

a. Culata

Se realizaron trabajos prácticos siendo estos; el pulido de las cámaras de combustión, rebaje de la superficie plana, apertura y pulido de los conductos de admisión, y el recorte de las guías de válvulas.

Pulido de las cámaras de combustión

Se trata de eliminar toda la carbonilla y además eliminar posibles puntos calientes que puedan llegar a producir autoencendido de la mezcla. El procedimiento se realizó con el uso de un taladro con cepillo de acero y papel abrasivo. Hasta dejar la cámara como se muestra en la Figura 1.

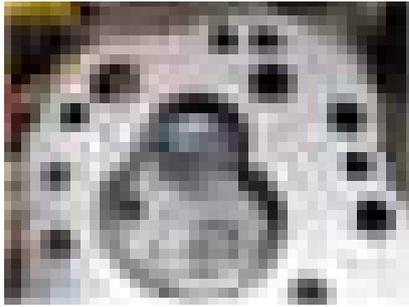


Figura 1. Pulido de la cámara de combustión

Rebaje de la superficie plana

Para el cepillado de la superficie plana del cabezote se consideró el pando del mismo que fue de 0.5mm en la parte central, este proceso se lo llevo a cabo en una rectificadora de superficies planas, desbastando el material hasta eliminar el pando, como evidencia la Figura 2.

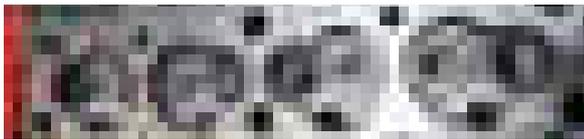


Figura 2. Rectificado de la superficie plana de la culata

Por la forma asimétrica de la cámara de combustión, se realizó la medición del volumen real de la cámara por medio de la cubicación como detalla la Figura 3. [6]



Figura 3 Cubicación de la cámara de combustión

El volumen de la cámara fue 38 ml.

Con el valor obtenido del nuevo volumen de la cámara de combustión se procede a calcular la relación de compresión real del motor trucado asumiendo el espesor del empaque de 1mm.

Datos:

$$V_h = 380.37 \text{ cm}^3$$

$$S_e = 1 \text{ mm}$$

Se le suma el volumen del empaque al volumen de la cámara de combustión.



Obteniéndose así una relación de compresión que fue de 8,3 del estándar a 9,89 del modificado.

Apertura y pulido de los conductos de admisión.

Se realizó un incremento del diámetro de entrada del conducto de admisión en un aproximado al 8% del diámetro inicial como lo menciona Gillieri [7], siendo el incremento de 32 mm a 34.5 mm, como se lo muestra en la figura 4, además del pulido de las paredes que se lo llevó a cabo con el uso de papel abrasivo de manera progresiva. Esto con la finalidad de mejorar el ingreso de aire hacia los cilindros, lo cual ayuda al rendimiento volumétrico, ver Figura 4.



Figura 4. Distribución T de Student

Recorte de las guías de válvulas

La finalidad del recorte de las guías de válvulas de admisión es para eliminar cualquier restricción al libre paso de aire por el conducto. Este procedimiento se realizó con una fresadora dando como resultado lo mostrado en la Figura 5.

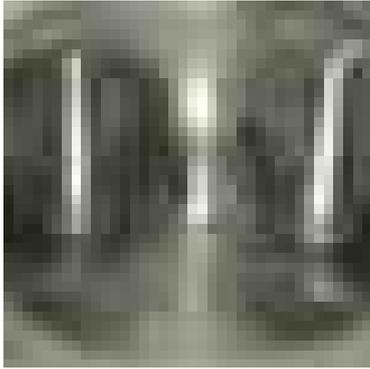


Figura 5. Recorte de guías de válvulas de admisión

Simulación de flujo de aire en los ductos de admisión mediante uso de software CAD

Con la finalidad de conocer el comportamiento del flujo de aire, se realizó una simulación en un software CAD, en el cual se modeló los conductos de admisión de la culata estándar y modificada del motor Nissan J15. [8] Los cuales se muestran en la Figura 6 y se tomó en cuenta factores teóricos como; velocidad de aire, volumen de flujo ingresado, la presión al final de la admisión y el grado de rugosidad de las paredes del conducto (5 a 15 μm) [9].

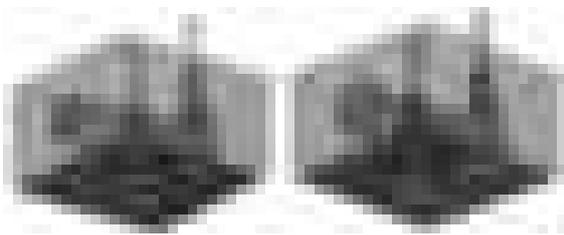
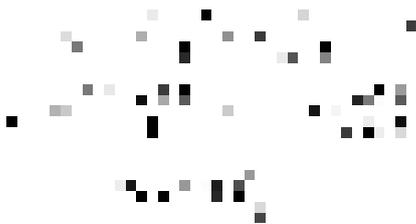


Figura 6. Modelado de los ductos de la culata estándar y modificado

En el modelo de la izquierda se encuentra el conducto estándar y sin modificación de las guías, en el lado derecho, el ducto se encuentra incrementado en su diámetro en su entrada, y las guías recortadas.

Flujo volumétrico de aire teórico



Este valor se introduce en los parámetros iniciales de la simulación, siendo un valor constante para la modificada y la estándar.

Presión al final de la admisión motor estándar [10]



Tabla 1. Interpolación en relación al cilindraje del motor Nissan 15 estándar.

Cilindraje (cc)	Presión (bar)
1500	1.2
1600	1.3
1700	1.4
1800	1.5
1900	1.6
2000	1.7

Nota: Valores de velocidad de movimiento de la carga y coeficiente de amortiguación y resistencia en relación al cilindraje, [11]

Tabla 2. Interpolación de datos para la altura de Quito 2806 m.s.n.m.

Altura (m)	Presión (bar)	Densidad (kg/m^3)
2800	1.0	1.2
2850	1.1	1.3
2900	1.2	1.4
2950	1.3	1.5
3000	1.4	1.6

Nota: Valores de presión y densidad en relación a la altura [12]

Cálculo de la presión al final de la admisión.



Tabla 3. Interpolación en relación al cilindraje del motor Nissan 15 modificado.

Cilindraje (cc)	Presión (bar)
1500	1.3
1600	1.4
1700	1.5
1800	1.6
1900	1.7
2000	1.8

Nota: Valores de velocidad de movimiento de la carga y coeficiente de amortiguación y resistencia en relación al cilindraje [11]

Cálculo de la presión al final de la admisión, se usa la misma presión y densidad interpolada para Quito.



Los valores encontrados de las presiones al final de la admisión son llevados al software como valores de presión estáticos mismos que se encuentran en los asientos de las válvulas. Como dato de velocidad de flujo en el conducto se toma el valor obtenido de $v = 69.328$ m/s siendo este constante tanto para conducto estándar como el modificado.

b. Bloque de cilindros

En el bloque se realizaron trabajos en sus paredes internas, bancada del cigüeñal, incremento del diámetro de cilindros y el bruñido de cilindros.

Pulido de las paredes internas

Para el proceso se utilizó una fresa de vidia para desbastar todas las paredes internas, para continuar con el lijado progresivo hasta llegar a un acabado tipo espejo, dando como resultado lo evidenciado en la Figura 7. Con la finalidad de que el aceite tenga un regreso más rápido hacia el Carter, con ello se consigue; dado el menor tiempo de presencia del aceite muy caliente en esta zona, que el bloque rebaje su temperatura de funcionamiento, además ayuda a conservar mejor las propiedades del lubricante, colaborando en la lubricación de la parte inferior del tren alternativo. [13].



Figura 7. Pulido de las paredes internas del bloque

Rectificado de cilindros

Con el fin de obtener un aumento considerable en el volumen del cilindro, se realizó la rectificación a su límite permisible. Donde se analizó factores como; la distancia de separación entre las paredes de los cilindros, el catálogo del fabricante y los pistones sobre medida disponibles en el mercado. Dejando la rectificación a $+40$ (0.040”), llegando así a un diámetro de cilindro de 79 mm (Figura 8).

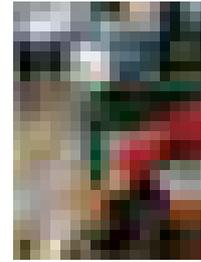


Figura 8. Rectificado del cilindro a 0.040” (79 mm diámetro final)

Bruñido de cilindros

El bruñido tiene como finalidad crear una superficie con rayaduras que se entrecruzan y poseen un ángulo entre sí, con el propósito de que el lubricante se mantenga y se distribuya a lo largo del cilindro, permitiendo conservar la película de aceite en altas revoluciones. [14]

El proceso se realizó en la rectificadora con una bruñidora vertical Ck-21, a un ángulo de 45° . Una vez realizado el bruñido, se comprobó trazando dos líneas con un ángulo de 45° , en una lámina de acetato como se puede observar en la Figura 9.



Figura 9. Comprobación del ángulo de bruñido

Reforzamiento de bancada

Al aumentar la presión media efectiva, se consigue una combustión con elevados valores de presión. Lo cual conlleva a un mayor esfuerzo en el tren alternativo, siendo el cigüeñal el elemento que recibe todas las cargas, llegando así a los cojinetes y tapas de bancada del block. Debido a este aumento de presión y al elevado número de revoluciones, es recomendable realizar un reforzamiento, asegurando el ajuste de los pernos y las tapas de bancada.

Existen varios métodos de reforzamiento de la línea de bancada, los cuales se aplican acorde a la simetría y material de cada bloque, se mencionan los siguientes:

- Refuerzo por tapetes laterales.
- Aumento del diámetro de los pernos.
- Placa de refuerzo en un plano superior.
- Refuerzo con pernos en un mismo plano
- Refuerzo con prisioneros en plano lateral de las tapas de bancada.

Debido a que la modificación del motor estándar incrementa la presión media efectiva del ciclo, se calculó la fuerza teórica [15] que se transfiere al muñón de bancada del cigüeñal, usando el valor del torque obtenido en la prueba de dinamómetro con el motor estándar y modificado.

- Motor modificado

Datos:



Se utiliza el torque máximo del vehículo a 3600 rpm obtenido de la prueba de dinamómetro del motor estándar.



Se le suma un valor de 15% (dato tomado del dinamómetro), por las pérdidas en las ruedas y en la caja de cambios.

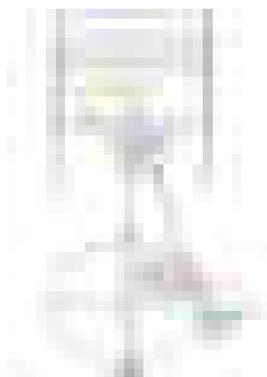
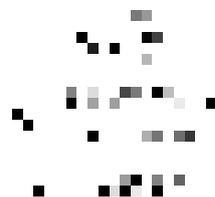


Figura 10. Diagrama de fuerzas del tren motriz

Fuerza Tangencial (F_t),



Ángulo del cigüeñal (θ). $\theta=366^\circ$
 Ángulo de la biela



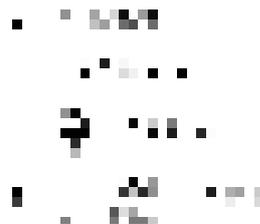
Fuerza del émbolo (F_e).



Fuerza en la bancada del cigüeñal (F_r).

- Motor modificado

Datos:



Torque máximo del vehículo a 3600 rpm obtenido de la prueba de dinamómetro.

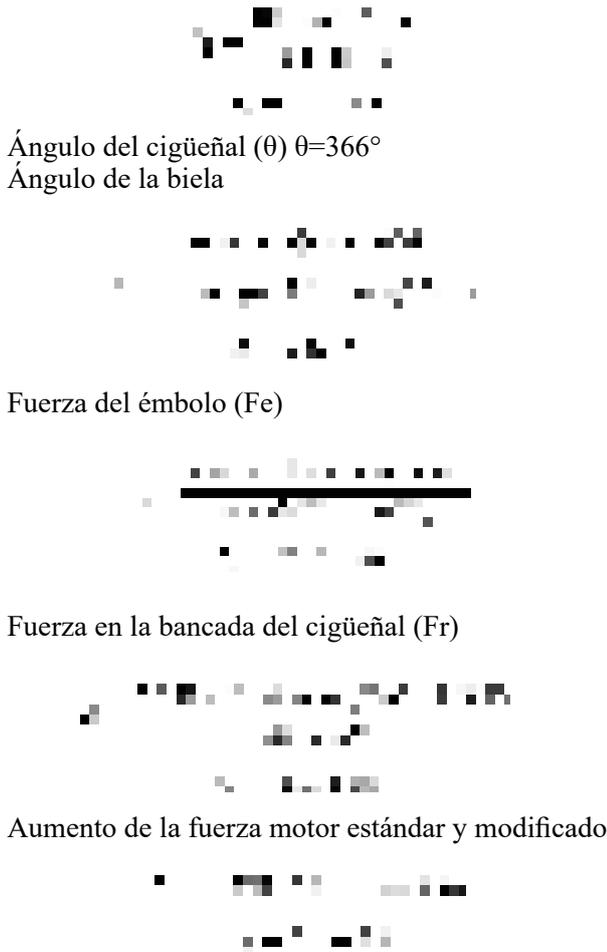


Se le suma un valor de 15% (dato tomado del dinamómetro), por las pérdidas en las ruedas y en la caja de cambios.



Fuerza Tangencial (F_t),





Se comprueba que en el motor modificado existe un aumento en la fuerza teórica que se transfiere al muñón de bancada de 4.557 kN, equivalente al 28 %, por lo que se realizó el refuerzo en la línea de bancada.

Debido a la geometría irregular y material de construcción del block, se optó por realizar el refuerzo lateral con prisioneros Allen en la tapa de bancada, el cual consiste en asegurar los pernos de la bancada en conjunto con las tapas, como se puede verificar en la Figura 11.

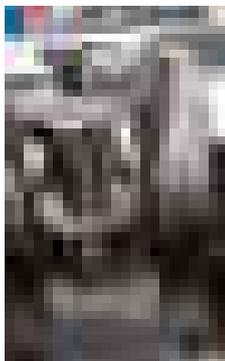


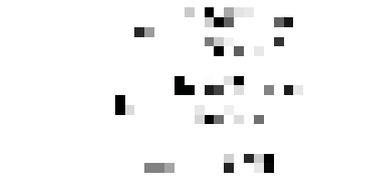
Figura 11. Reforzamiento de bancada con prisioneros

c. Construcción del Header

Para la construcción se calculó las longitudes y diámetros de tubos, obteniéndose como resultado los siguientes valores:

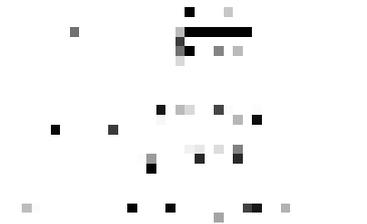
Longitud del colector de escape

Se planteó que el motor va a llegar a un régimen de giro máximo de 7000 rpm. Y se tomó un ángulo de permanencia de apertura de la válvula de escape de 252° , según el catálogo, debido a que se mantuvo el árbol original del motor



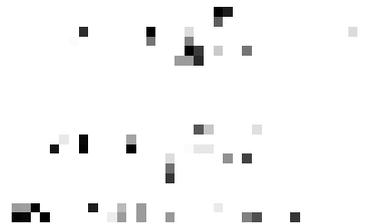
El valor obtenido de 78 cm es medido desde la válvula, siendo esta de 9 cm, obteniéndose un largo de tubo de 69 cm, por la ubicación del motor en el vehículo se redujo esa medida a 60 cm.

Diámetro del tubo colector



La medida obtenida, comercialmente no se va a encontrar por lo que se optó por utilizar un tubo de 1,5 in de diámetro

Diámetro del tubo de escape



El diámetro del tubo se estimó a dos pulgadas que se encuentra comúnmente en el mercado local.

3. Resultados y Discusión

a. Simulación de flujo de aire

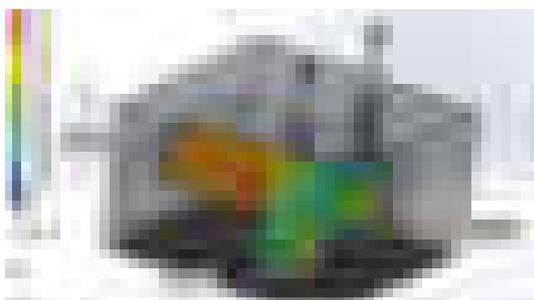


Figura 12. Simulación de los ductos de la culata estándar

En la simulación (Figura 12), se puede observar que, en el conducto sin modificaciones, el flujo al ingreso toma valores dentro 69 m/s hasta 78 m/s. Existiendo un pico de 87.5 m/s en la curvatura de ingreso a cada cilindro. En cuanto a la zona de ingreso al cilindro se puede observar que los valores se encuentran en el rango de 32 m/s hasta 59,8 m/s.



Figura 13. Simulación de los ductos de la culata modificada.

Después de realizar la modificación en el conducto de la entrada de 32 mm a 34.5 mm, (Figura 13), se obtuvo valores de velocidad en la entrada del conducto, los cuales están entre 86 m/s a 98m/s, con velocidades de 110 m/s en la curvatura de los conductos. En la zona de salida hacia los cilindros se muestran velocidades entre 46 m/s a 69 m/s.

Se puede observar que se tiene un mayor valor de velocidad de fluido, en el conducto modificado, incrementando sus valores de velocidad en diferentes secciones como:

- En la entrada al conducto donde se muestra un incremento de 25.17%.

- En la sección curva (valor pico) se incrementa 25.71%.
- En la sección de salida de fluido hacia los cilindros se muestra un incremento de 25.27%.

En total se tiene un incremento aproximado del 25% de la velocidad del aire dentro de los conductos de admisión en la culata, acorde con la simulación teórica.

b. Medición de compresión

Es un proceso del comportamiento del motor en función del sellado de la cámara de combustión (PSI-bar), utilizando un compresímetro, como se muestra en la figura 14; Obteniéndose los valores de la tabla 4, 5.



Figura 14. Medición de compresión

Tabla 4. Resultados de la medición de compresión motor estándar.

Medición	Valor 1 (PSI)	Valor 2 (PSI)	Valor 3 (PSI)	Valor Promedio (PSI)
1	105	108	110	108
2	102	105	108	105
3	108	110	112	110

Nota: Se realizó una ronda de 3 mediciones para tener un valor más preciso, se presenta el resultado promedio en números enteros. Valores en PSI

Tabla 5. Resultados de la medición de compresión motor modificado.

Medición	Valor 1 (PSI)	Valor 2 (PSI)	Valor 3 (PSI)	Valor Promedio (PSI)
1	115	118	120	118
2	112	115	118	115
3	120	122	125	122

Nota: Se realizó una ronda de 3 mediciones para tener un valor más preciso, se presenta el resultado promedio en números enteros. Valores en PSI

Tabla 6. Comparación de compresión antes y después de las modificaciones.

Cilindro	Motor Estándar	Motor Modificado	Incremento (%)
1	11,79%	13,18%	11,79%
2	16,76%	19,03%	16,76%
3	8,86%	9,65%	8,86%
4	14,36%	16,43%	14,36%

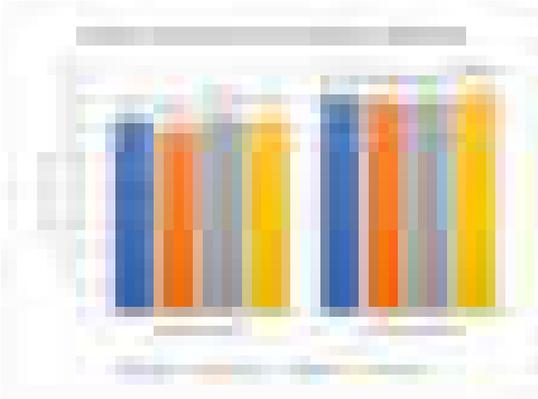


Figura 15. Valores promediados de la medición de compresión.

En la Figura 15 se muestran los valores promediados de las mediciones realizadas en cada uno de los cilindros tanto para el motor estándar como para el motor modificado, donde se visualiza que existe un incremento notable de la compresión. Siendo el segundo cilindro el que obtuvo un mayor incremento con el 16,76%, seguido del cuarto cilindro con el 14,36%, el primer cilindro obtuvo una ganancia de 11,79% y el tercer cilindro con una ganancia de 8,86%, estos porcentajes toman como referencia los valores de compresión en el que se encontraba el motor estándar. Además, en el motor modificado se ha mantenido en valores similares, siendo el cilindro 4 el que ha dado un mejor sellado a comparación de los demás.

c. Tiempo de recorrido del aceite en las paredes internas del block

Se realizó una prueba de fluidez del aceite en las paredes interiores del block, para estimar el tiempo en que el aceite retorna al cárter deslizándose por la superficie áspera del motor estándar utilizando; aceite 10w30, jeringa de 10 ml, cinta métrica y cronómetro, para lo cual se limpió la superficie sobre la cual se deslizaría el aceite se trazó dos líneas a una distancia de 10 cm, se dejó deslizar el aceite por la superficie y se tomó el tiempo de recorrido, como evidencia la Figura 16.



Figura 16. Prueba de recorrido de aceite en las paredes del bloque

Las mediciones obtenidas se detallan a continuación en la Tabla 7 y 8.

Tabla 7 Medición de la fluidez del block estándar.

Cilindro	Tiempo (s)
1	15,5
2	12,5
3	14,5
4	13,5

Tabla 8. Medición de la fluidez del block trucado.

Cilindro	Tiempo (s)
1	7,2
2	4,2
3	6,2
4	5,2

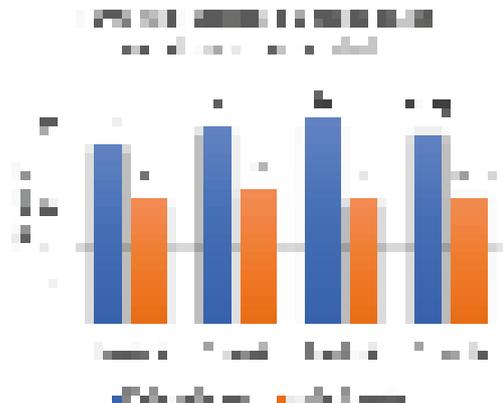


Figura 17. Valores de tiempo del recorrido de aceite sobre las paredes del block.

El tiempo promedio de las pruebas realizadas (Figura 17) en las paredes del block del motor trucado disminuye en 8,33 segundos, obteniéndose una reducción del 33,8% en el tiempo de recorrido, demostrando así que el aceite tendrá un retorno más rápido al cárter cuando el motor entre en funcionamiento.

d. Medición de temperatura del aceite

En este ensayo se utilizó un termómetro infrarrojo ETEKCITY LASERGRIP 1022, que obtiene la temperatura de la primera superficie a la cual se dirige el láser.

Para lo cual se configuró el termómetro con la emisividad (energía infrarroja emitida por un objeto) del aceite en 0.94 como se muestra en la figura 18, dicho dato se indica en el manual de uso del termómetro, las mediciones se las realizaron en la varilla de nivel de lubricante, como se muestra en la Figura 18.

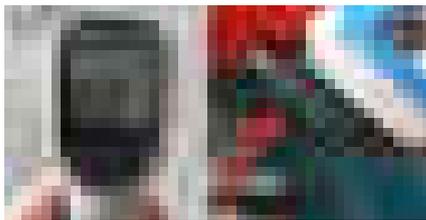


Figura 18. Medición temperatura de aceite

Tabla 9. Resultados de la medición de temperatura del aceite.

Medición	Temperatura (°C)
1	105
2	102
3	103
4	101
5	104
6	100
7	106
8	102
9	103
10	101
11	104
12	100
13	105
14	102
15	103
16	101
17	104
18	100
19	105
20	102
21	103
22	101
23	104
24	100
25	105
26	102
27	103
28	101
29	104
30	100

Nota: Se realizó una ronda de 3 mediciones con la finalidad de obtener un promedio de los valores medidos.

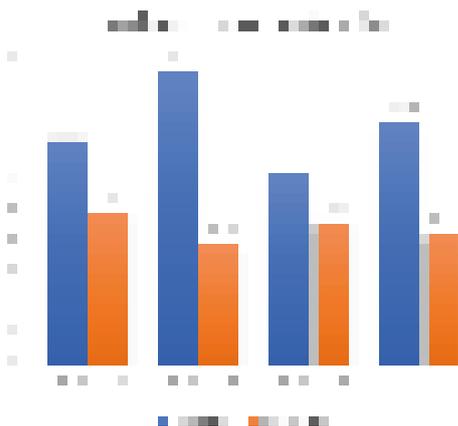


Figura 19. Valores de la temperatura de aceite tomados en la varilla de nivel

La Figura 19 muestra las mediciones realizadas de la temperatura, se realizó un estimado de los valores obtenidos como se muestra en la gráfica, en la cual se aprecia una disminución estimada de 3,26°C lo cual representa el 5,76% de reducción de la temperatura del motor estándar.

4. Conclusiones

Se puede asegurar de en este caso de estudio la aleatoriedad del proceso experimental. Las mediciones se las tomaron se realizó el trucaje de los elementos fijos como; la culata, block y los colectores de ingreso, en base a la mejora del flujo volumétrico Nissan J15. Además, se ejecutaron otros tipos de trucaje que ayudan al funcionamiento general del motor en el aspecto de la refrigeración y lubricación. También se reforzó la línea de bancada, con el uso de prisoneros allen.

Se realizó una medición de temperatura del aceite utilizando un termómetro laser y tomando una muestra de aceite con el medidor de cantidad de aceite (bayoneta), en donde los resultados mostraron que se obtuvo una reducción promedio aproximado de 3,26° C en el motor modificado.

Se realizó una prueba de fluidez de aceite en las paredes internas del block, donde se redujo el tiempo de contacto de la superficie del block con el aceite en un promedio de 33.8%.

En la prueba de compresión, se utilizó un compresímetro de reloj, y se mostró un aumento de compresión en el motor modificado, de 8,86% a 16,76%.

En la simulación CAD del flujo volumétrico teórico en los conductos de admisión de la culata modificada y estándar, se presenta un incremento promedio de la velocidad de aire del 25%, esto después de realizar la apertura en el ingreso de aire de la culata y el recorte de guías de válvula de admisión.

5. Referencias

- [1] Mecánica automotriz, «Manual de Trucaje y Modificaciones de Motores para el Aumento de Potencia,» 6 septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.mecanicoautomotriz.org/1674-manual-trucaje-motores-aumento-potencia-modificaciones>. [Último acceso: 20 marzo 2020].
- [2] M. De Castro Vicente, Trucaje de motores de cuatro tiempos, España: CEAC, 2004.
- [3] A. Gutierrez Gutierrez, «Desarrollo experimental de la repotenciación de un motor de combustión interna a gasolina,» Universidad de los Andes,

Bogotá, 2004.

[4] D. González, Motores térmicos y sus sistemas auxiliares, Madrid: Paraninfo, 2015, p. 100.

[5] F. Olivo Barragán, Trucaje Mecánico Y Volumétrico Del Motor (Tesis), Santo Domingo, Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial, Volkswagen 1,6 Del Año 1998.

[6] R. Santander y C. Ramos, Elaboración De Un Manual Técnico Para La Preparación Del Motor Suzuki De Competición, Para El Aprendizaje De Los Estudiantes De La Carrera De Mecánica Industrial Automotriz, De La Escuela De Educación Técnica(Tesis Pregrado), Riobamba: Universidad Nacional De Chimborazo, 2015.

[7] S. Gillieri, Preparacion de Motores de Serie para Competicion, Barcelona: Ceac, 2007.

[8] C. Diego, Análisis Comparativo Del Flujo De Aire En Una Culata Estándar Y Una Preparada De Un Motor Grand Vitara 1600 Cc Sohc(Tesis Pregrado), Ibarra Ecuador: Universidad Técnica Del Norte, 2017.

[9] T. Hobson, «Rugosidad Superficial,» GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA, Argentina, 2016.

[10] M. Jóvaj, Motores del automóvil, Moscú: MIR, 2007.

[11] J.E. Erazo Lopes, “Análisis de comportamiento de un motor de combustión interna a gasolina de 4 cilindros 1800 cc del vehículo chevrolet optra limited (Tesis de Pregado),” Universidad Internacional SEK, Quito, 2016.

[12] Y. A. Cengel, Termodinámica, Mexico: McGraw-Hill, 2012, p. 54.

[13] J. Passaniti, Manual técnicas de competencia, Argentina: Técnicas RT, 2007.

[14] J. Payri y J. M. Desantes, Motores de combustión interna alternativos, Barcelona: Reverté, 2011.

[15] H. Kindler y H. Kynast, Matemática aplicada para la técnica del automóvil (GTZ), Alemania: Reverte, 2001.

[16] C. Funes, Motores para Competición: Diseño y preparación, Cordova Argentina: Registro de propiedad intelectual, 2010.

[17] S. Sanz, Características de los motores (Motores), Madrid: Editex, 2017.

[18] G. F. S. Flor y C. P. S. Flor, Comparación de las características de eficiencia de un motor suzuki forsa G10 sohc al variar secuencialmente elementos posibles de trucaje para competición a través de un banco de pruebas, Latacunga, 2006.

6. Biografía



¹González David. , Ingeniero Automotriz, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Asesoramiento en Mecánica y Electrónica de Vehículos



²Lozada Jhon. – Ingeniero Automotriz, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



³Fabián Salazar, nació en Latacunga, Ecuador, Ingeniero de Ejecución en Mecánica Automotriz e Ingeniero Industrial, Magister en Dirección de Empresas y Gestión de Energías, Diplomado Superior en Gestión Del Aprendizaje Y Gerencia De Marketing, Especialización en Gerencia De Proyectos, Docente de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE-L – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	15 agosto 2020
Fecha aceptación	18 septiembre 2020

ANÁLISIS DE SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA LA ADAPTACIÓN EN LA CARROCERÍA MODIFICADA VOLKSROD DEL VOLKSWAGEN TIPO 1

ANALYSIS OF SELECTION OF THE ELECTRIC MOTOR FOR ADAPTATION IN THE MODIFIED VOLKSROD BODY OF THE VOLKSWAGEN TYPE 1

Juan Gabriel Ballesteros López¹, Orlando Vladimir Miranda Reyes², Jessica Lizbeth Bayas Izurieta³, Diego Hernán Punina Poveda⁴
^{1,2,3,4} Instituto Superior Tecnológico Guayaquil
e – mail : ¹jballesteros.istg@gmail.com, ²omiranda.istg@gmail.com, ³jessicabayas_14@hotmail.com, ⁴dpunina.istg@gmail.com

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 10 (10)

Resumen

La investigación tiene como objetivo principal el diseño. El presente artículo tiene como objetivo principal el proceso de selección del motor eléctrico para la implementación en la carrocería modificada Volksrod del Volkswagen tipo uno, fundamentada en costo, eficiencia, adaptabilidad, se utiliza las curvas de tiempo de descarga sobre corriente de descarga y el método ordinal corregido de los factores ponderados.

El proyecto basa su accionar en la integración total de conocimientos adquiridos y de nuevos que permitan potencializar a los involucrados; la modificación estructural del Volkswagen tipo uno, pone en práctica las competencias del saber hacer, la instalación de nuevos sistemas tecnológicos complementa el resto de los saberes, la propulsión eléctrica incorporada en el vehículo parte de un comparativo de eficiencia entre los motores eléctricos.

Se presenta la aplicación de nuevas propuestas de automoción, por motivo de abordar el tema de la contaminación ambiental que producen los automóviles hoy en día y es catalogado como un problema a nivel global, para esto se han presentado distintas soluciones, dentro de las cuales destaca el vehículo eléctrico, el cual puede adquirir energía a través de baterías recargables, y no emite gases de efecto invernadero, reduciendo así tanto la contaminación atmosférica como acústica.

Palabras Clave: Eficiencia, Motor eléctrico, adaptabilidad, volksrod.

Abstract

The main objective of this article is the selection process of an electric engine for its implementation in the modified Volksrod car body of the Volkswagen type one model, based on cost, efficiency, adaptability- examining discharging time over discharging current curves- and the ordinal corrected method of weighting factors.

This project bases its actions on the total integration of acquired and new knowledge that will empower those systems involved. The structural modification of the Volkswagen type one puts into practice the application of know-how skills, the installation of new technology systems to complement other areas of knowledge, and the electric propulsion incorporated in the vehicle through the comparison of efficiency between electric engines.

The implementation of new automotive processes is presented to address the issue of environmental pollution produced by cars nowadays, which is a problem at a global level. For this reason, different solutions have been provided among which the electric vehicle stands out because it can acquire energy through rechargeable batteries and does not release greenhouse gas emission, thus reducing both air and noise pollution.

Keywords: Efficiency, electric engine, adaptability, volksrod

1. Introducción

En el vehículo Volkswagen escarabajo modificado tipo Volksrod, al contar simplemente con un motor de combustión interna provoca contaminación ambiental por los gases que son expulsados por el tubo de escape, perjudicando al medio ambiente y a la salud de la ciudadanía a su vez son considerados como generadores de glándulas cancerígenas a la piel y al sistema respiratorio.

Al ser analizados estos factores, la solución óptima es la adaptación de un motor eléctrico a la carrocería del vehículo Volkswagen escarabajo modificado tipo Volksrod, los vehículos eléctricos tienen cada vez más protagonismo en las soluciones de movilidad del siglo XXI, tanto en el ámbito comercial como particular (flotas de reparto, transportes...).

Existen muchos tipos de vehículos eléctricos: coches, cuadríciclos, motos, bicicletas o incluso patinetes, cada vez más presentes en las áreas metropolitanas y en entornos turísticos. [1]

Categorías de vehículos eléctricos

Las diferentes categorías de vehículos eléctricos son las siguientes: BEV, HEV, PHEV y FCEV, a continuación, te explicamos sus características con más detalle.

BEV (Battery Electric Vehicle) - Vehículo eléctrico de batería

Los vehículos eléctricos que usan baterías, son conocidos como BEV, automóviles completamente eléctricos; en estos automóviles la propulsión se realiza usando motores eléctricos su energía está almacenada en su sistema de baterías interno, usando tecnología de iones de litio, es considerado un vehículo puramente eléctrico tiene como característica principal la imprescindible su conexión a la red eléctrica para poder efectuar la recarga de sus baterías y contar con autonomía suficiente.

HEV (Hybrid Electric Vehicle) - Vehículos híbridos eléctricos; más conocidos como vehículos híbridos eléctricos (HEV) reciben el nombre de híbridos convencionales o también de híbridos no enchufables, este tipo de vehículo se considera una mezcla entre un vehículo eléctrico y uno convencional, porque integran un motor de combustión interna, usa combustible (gasolina o diésel) y un sistema de motor

eléctrico; las baterías se recargan usando la energía generada por el motor de combustible y aprovechando la energía recuperada cuando se produce el frenado del vehículo, habiendo fases en las que se utiliza la energía eléctrica, si hay energía suficiente almacenada en las baterías y en otros momentos se usa el motor de combustión.

PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) - Vehículos híbridos eléctricos enchufables

Los vehículos híbridos eléctricos enchufables (PHEV) son una variante de los vehículos híbridos convencionales que además cuentan con baterías de almacenamiento de energía que se pueden recargar usando la red eléctrica. Al poder usar energía eléctrica almacenada en las baterías este tipo de vehículos cuentan con una elevada autonomía en modo totalmente eléctrico y cuentan además con la posibilidad de un funcionamiento híbrido, de forma similar a los vehículos híbridos no enchufables.

FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) - Vehículos eléctricos con pila de combustible.

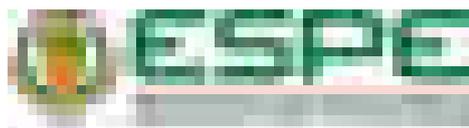
Los vehículos eléctricos de pila de combustible, por sus siglas en inglés FCEV, es el menos desarrollado en la actualidad, aunque cada vez son más las investigaciones y desarrollos en este campo a diferencia del resto de vehículos utilizan hidrógeno como fuente de energía y permitiría integrar esta fuente de energía en el transporte.

Estos vehículos eléctricos usan una pila de combustible alimentada con hidrógeno para generar energía eléctrica que es usada para alimentar el motor eléctrico que impulsa el vehículo, el hidrógeno no genera emisiones contaminantes en este proceso por lo que es un aprovechamiento respetuoso con el medio ambiente, siempre y cuando el hidrógeno se haya podido obtener de un modo sostenible.

Elementos del vehículo eléctrico

Un coche eléctrico puede llegar a usar diferentes tecnologías de propulsión y por lo general se compone básicamente de los siguientes elementos:

La unidad de recarga interna (la infraestructura de recarga externa no forma parte directa del vehículo eléctrico).



a) Las baterías.

Los sistemas de conversión e inversores de corriente continua/corriente alterna (CC/CA) o de corriente continua/corriente continua (CC/CC).

b) El motor eléctrico.

Elementos y funcionamiento vehículo eléctrico

Los coches eléctricos disponen de una unidad de carga y potencia interna su función es poder transformar en corriente continua la energía de la corriente alterna proveniente de la red eléctrica para poder cargar la batería del vehículo eléctrico.

En los últimos 5 años la demanda de baterías utilizadas por los vehículos eléctricos (20 kWh a 60 kWh) obliga a los fabricantes de vehículos a realizar mejoras constantes en estas unidades de control de potencia y a proponer nuevos diseños de filtros internos para evitar la emisión de armónicos a la red eléctrica y posibles corrientes de fuga tanto en corriente alterna como en corriente continua.

c) Baterías

Existen muchos tipos de baterías, pero las de litio-ion se han impuesto como la tecnología de referencia por sus características que las hacen idóneas: no presentan memoria, son muy duraderas y pueden soportar muchos ciclos de cargar; las baterías de litio-ion almacenan la energía que le cede el cargador (conectado a una red de corriente alterna) en forma de corriente continua.

Esta batería principal es el medio por el que se alimenta todo el coche eléctrico por ello en los coches que tienen un motor eléctrico de corriente continua esta batería va directamente conectada al motor; en cambio en los coches eléctricos que tienen un motor eléctrico de corriente alterna la batería va conectada a un inversor un equipo que transforma la corriente continua en corriente alterna.

d) Conversores e inversores

Los conversores son equipos que transforman la tensión de la electricidad suministrada por las baterías generalmente disminuyendo su tensión hasta un nivel de 12 Voltios, la tensión de funcionamiento habitual de los elementos auxiliares de vehículo eléctrico, tales como la iluminación y los sistemas de control, entre otros.

Los inversores sirven para transformar la corriente continua que cede la batería principal en corriente alterna por lo que este equipo es el que permite que se pueda alimentar el motor en corriente alterna del coche eléctrico gracias al uso de baterías que almacenan la energía en forma de corriente continua.

Motores para vehículos eléctricos: tipos, características y ventajas

El motor de un vehículo eléctrico es uno de los elementos más importantes en su diseño, operación y funcionamiento que determina la existencia o no de otros componentes como inversores y convertidores, los motores utilizados en un coche eléctrico pueden ser de corriente continua o de corriente alterna.

Aunque en el mercado existen diferentes tipos de motores eléctricos todos están formados principalmente por un estátor, el rotor y la carcasa:

El estátor es la parte fija de la máquina rotativa y pueden ser desde electroimanes hasta chapas magnéticas.

Dentro se ubica el rotor, que es la parte móvil.

Los dos componentes están envueltos por la carcasa metálica. [2]

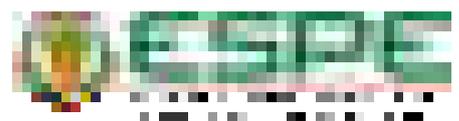
Estos motores pueden ser de varios tipos para cada tecnología, pero los más utilizados en tracción eléctrica los que te presentamos a continuación.

Los motores eléctricos son aquellos aparatos que tienen una transmisión con un par más amplio que los convencionales, diseñados con un adaptador especial con una caja de cambios útil para motores AC (Corriente Alterna) los mismos que presentan un amplio rango de velocidades mejorando su ejecución a bajas velocidades, reduciendo la contaminación ambiental, así como minimizando el ruido al máximo.

Motores Eléctricos

Los motores eléctricos son los encargados de convertir la energía eléctrica en fuerza de giro por la acción originada por campos magnéticos, donde sus velocidades son constantes, soportan grandes sobrecargas, con una construcción sencilla y fácil de arrancarlos. [3]

Los motores eléctricos permiten generar un continuo impulso mecánico cuya fuerza hace girar las ruedas y pone el vehículo en marcha; donde se descubre que el magnetismo produce electricidad a través del



movimiento en base a teorías de electromagnetismo, donde dos imanes rechazan o atraen en función de las alineaciones de sus polos, que se opongan entre sí, donde la parte giratoria, llamada rotor, se mueve frente a la parte estática, usada para crear campos eléctricos. [4]

Los motores eléctricos tienen una eficiencia mayor que los de combustión interna en un rango del 40 al 70%, son más ecológicos por no contener aceites ni líquidos refrigerantes, así como ningún elemento derivado del petróleo con una estructura simple y facilidad de conducción y mínimo nivel de ruido teniendo como desventaja su elevado precio como mínima autonomía de una recarga completa, el cual oscila en un máximo kilometraje de 500 Km, con poca potencia.

Tipos de motores eléctricos

Junto con la batería y el motor forma la pareja más importante de todos los componentes necesarios para un vehículo eléctrico de él depende la eficiencia, la autonomía y las prestaciones; en el mercado existen diferentes tipos de motores eléctricos, formados principalmente por un estátor, rotor y carcasa.

El estátor es la parte fija de la máquina rotativa, pueden ser desde electroimanes hasta chapas magnéticas, que acoge en su interior al rotor, la parte móvil; todo ello está envuelto por la carcasa metálica, según su alimentación mediante corriente alterna o continua y su arquitectura, se pueden dividir en las siguientes categorías: [1]

a) Motor Asíncrono o de Inducción (AC)

Su principal característica es que el giro del rotor no corresponde a la velocidad de giro del campo magnético producido por el estátor.

Este motor está formado por un rotor que puede ser de tipo jaula de ardilla o bobinado, en el estátor (anillo cilíndrico de chapa magnética) se encuentran las bobinas inductoras que son trifásicas, desfasadas entre sí a 120°, las ventajas encontramos la alta eficiencia, coste bajo, fiabilidad, bajo ruido y vibraciones y por constante en cambio sus contras son su baja densidad de potencia el bajo par en el arranque y el riesgo de sobrecarga es uno de los motores más utilizados en la industria del VE por ello Tesla Motors lo usa en todos sus modelos al igual que los pequeños fabricantes Reva o Tazzari. [1]

b) Motor síncrono de imanes permanentes (AC)

Con una velocidad de giro constante siendo igual el giro del rotor que la velocidad del campo magnético creado por el estátor el motor síncrono de imanes permanentes puede ser de dos tipos; de flujo radial o de flujo axial, dependiendo de la posición del campo magnético de inducción que puede ser perpendicular o paralelo al eje de giro del rotor. Son más usados los de flujo radial, en cambio los de flujo axial permiten ser integrados directamente en la rueda del vehículo, optimizando el espacio en el vehículo y simplificando los acoplamientos mecánicos entre motor y rueda, son los conocidos como «in-wheel motor».

Las ventajas de este tipo de motor son su alto rendimiento, un control de velocidad sencillo, bajo ruido, vibración, tamaño y peso. Aunque tienen un alto coste, junto con los motores asíncronos, son los más extendidos dentro de los VE e híbridos. Lo montan Nissan, BMW, VW, Kia, BYD, Smart, el Outlander PHEV y el iMiEV (y sus «mellizos» Peugeot iON y Citroën C-Zero) de Mitsubishi o los híbridos de Chevrolet, Opel, Toyota y Lexus. [1]

c) Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable. (AC)

La corriente es conmutada entre las bobinas de cada fase del estátor hasta crear un campo magnético que gira. El rotor, que está hecho con un material magnético con polos salientes, son influenciados por el campo magnético, atrayéndose y creando un par que mantiene el rotor moviéndose a velocidad síncrona. Estos motores no necesitan imanes permanentes ni escobillas, y tienen a favor su elevado par, robustez y bajo coste, mientras que en contra tiene su baja potencia y la complejidad de su diseño. Renault y su departamento «Electric Powertrain» desarrollaron el modelo 5A, un modelo de motor síncrono más eficiente que los de imanes permanentes. [1]

d) Motor sin escobillas de imanes permanentes (DC)

Conocidos con «brushless», estos motores poseen imanes permanentes situados en el rotor que funcionan mediante la alimentación secuencial de cada una de las fases del estátor. Pueden ser «inrunner», mayor velocidad de giro y menor par, o «outrunner» menor velocidad y mayor par. Aunque son usados mayormente en vehículos híbridos, los motores «brushless» ofrecen algunas ventajas para

su uso en VE, su bajo ruido y rozamiento, robustez y ausencia de mantenimiento. Por ahora son motores poco experimentados, que tienen un precio elevado y poca potencia. Lo ha montado Honda en algunos de sus pre-series o prototipos eléctricos. [1]

Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia

*Par motor: Es la fuerza con la que gira el eje del motor, se mide en Newton/metro (Nm)

*Régimen de giro: Es el nº de vueltas que da el eje motor por unidad de tiempo, se mide en revoluciones por minuto (rpm).

*Potencia motor: Es la cantidad de trabajo realizada por unidad de tiempo y se obtiene de multiplicar el par por las revoluciones. Se mide en caballos de vapor (CV o HP) o en Kilovatios (kW): $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ CV}$ [5]

No es fácil explicar la diferencia entre par y potencia; un ejemplo clásico es el de la bicicleta vamos en bici a velocidad mantenida gracias a la potencia (W) de pedaleo las revoluciones son las vueltas completas del pedal y el par es la fuerza ejercida sobre los pedales, supongamos ahora que cambiamos a piñón pequeño manteniendo la velocidad: el desarrollo se alarga, las rpm disminuyen y el pedaleo se hace más duro, necesitaremos más par.

Los gráficos de potencia, par y revoluciones definen las relaciones entre estos parámetros para cada motor y como luego veremos los motores eléctricos presentan ventajas importantes frente a los térmicos es esta área.

También reseñar que para mover cargas pesadas (locomotoras, camiones, tractores...) se utilizan motores elásticos (buenos valores de par desde bajas vueltas) y de par muy elevado, mientras que para cargas ligeras o competición se utilizan motores muy revolucionados en los que el par a bajas vueltas no es tan importante.

Un ejemplo: cualquier motor turbodiesel actual de 2 litros tiene un par motor similar o superior a un motor de F1 pero mientras que él 1º lo alcanza a menos de 2000 rpm, el otro lo alcanza a más de 15.000 rpm con lo que las diferencias finales de potencia son abismales.

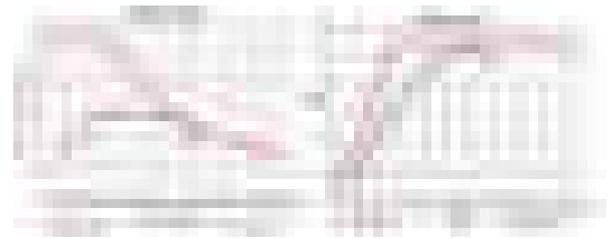


Figura 1. curvas par motor

En la Figura 1 podemos ver las curvas típicas de un motor eléctrico y de un motor de gasolina de 1600 cm³ comparado con dos motores de Nissan de 109 CV de potencia.

La potencia máxima es la misma, pero en realidad el motor eléctrico es más potente es casi todas las circunstancias: hasta 1000 rpm ofrece más del triple de potencia, hasta 2000 rpm más del doble aunque las curvas se van acercando hacia las 6.000 rpm, la gasolina corta a 6.500 rpm y el del Leaf aún ofrece su potencia máxima hasta 9800 rpm y gira hasta las 10.400 rpm, cuando la gente prueba un coche eléctrico por primera vez se sorprende por la sensación de potencia a velocidades bajas o medias es una sensación más potente que un vehículo térmico equivalente en esas condiciones.

Otro factor diferenciador importante es que el motor térmico es incapaz de girar por debajo del régimen de ralentí (unas 700 rpm): el giro se vuelve inestable y se cala, en cambio el eléctrico es capaz de girar igual de equilibrado y con la misma fuerza (par) a 20 rpm que a 2000 rpm y desde 0 rpm dispone ya del par máximo el motor eléctrico no necesita girar cuando el vehículo está parado ni un embrague para iniciar la marcha y como para el inicio de la marcha lo importante es el par y no la potencia si le acoplamos una caja de 5 marchas sería capaz de arrancar con toda suavidad con cualquiera de ellas, aunque lógicamente en las marchas largas las aceleraciones serían menos brillantes. [5]

Un dato adicional del Leaf, su reductora tiene un desarrollo final similar al de una 2ª típica de un coche térmico (14,3 km/h por 1000 rpm), por lo que alcanza su régimen máximo de giro a 150 km/h, limitando de esta forma su velocidad máxima.

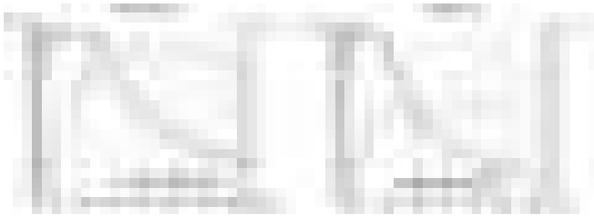


Figura 2. par de motores eléctricos

En la Figura 2 se muestra el par de motores eléctricos: Fluence 95 CV y Kangoo 60 CV. En realidad, estamos ante el mismo motor, como demuestra el hecho de que el par máximo sea idéntico. Cambian las especificaciones, de manera que el motor del Fluence es capaz de mantener el par a más revoluciones. Llama la atención unas curvas de par atípicas, con un trazo ascendente en las primeras rpm. Renault anunció hace tiempo una limitación electrónica del par a pocas vueltas para conseguir más suavidad y progresividad en las arrancadas. Quizás la causa hay que buscarla en los desarrollos de transmisión escogidos, aún más cortos que en el Leaf: 11 km/h a 1.000 rpm (Kangoo) y de 12 km/h a 1000 rpm (Fluence). Esto significa que en la Kangoo, el motor gira a 12.000 rpm a 130 km/h y en el Fluence gira a más de 11.000 rpm a 135 km/h. [5]

Las ventajas de los coches eléctricos

Se dice que los motores eléctricos ofrecen menos potencia que los de combustión interna, que la autonomía es mínima y que los tiempos de carga pasan de las 24 horas es posible que ello haya sido así hace muchos años la realidad hoy es que los coches eléctricos ofrecen múltiples ventajas veamos:

Mayor eficiencia del motor: los vehículos eléctricos utilizan entre 0.1 y 0.23 kW/h por kilómetro. Es un indicador muy bajo, pero será aún menor en poco tiempo, ya que un poco más de la mitad de este consumo se deriva de la ineficiencia en el proceso de carga de las baterías.

Cero emisiones: el vehículo eléctrico es la única solución que logra obtener cero emisiones de residuos, de gases efecto invernadero y de emisiones de contaminantes.

Silencio total: los vehículos eléctricos ofrecen una experiencia de conducción, que se caracteriza por el desplazamiento suave y silencioso. Esto se logra gracias a la ausencia de piezas móviles en el motor, por la ausencia de explosiones en el proceso de

combustión, pero también gracias a poder prescindir de un sistema de escape, que suele ser la principal fuente de ruido en un automóvil convencional.

Costes de la energía: el coste de la energía utilizada en vehículos eléctricos equivale a un tercio del valor del combustible utilizado en los vehículos con motor de combustión interna.

Menores costes de mantenimiento: los coches eléctricos tienen menos costes de mantenimiento ya que no requieren cambios de aceite frecuente y otras operaciones de mantenimiento, en la medida en que sus motores no cuentan con piezas móviles o que tengan roce entre sí el desgaste es mucho menor.

Frenado regenerativo: un motor eléctrico funciona como un generador, durante el frenado del coche la salida de energía producida después de convertida se utiliza para recargar las baterías esto significa que el vehículo devuelve energía al sistema.

Comodidad y confort: la conducción de los coches eléctricos es agradable y suave se evita tener que presionar el pedal del embrague y se prescinde de la caja de cambios.

El par, en los motores eléctricos es constante a cualquier rotación, proporcionando así prestaciones interesantes. [6]

Desventajas de los vehículos eléctricos

Peso de las baterías: una de las principales desventajas de estos coches, es el peso de sus baterías. Aunque ha habido avances tecnológicos, para obtener menor peso y mayor autonomía, las baterías de un Tesla Roadster, por ejemplo, pesan 450 kilogramos.

Vida útil de las baterías: un conjunto de baterías para un coche eléctrico puede tener una vida útil que oscila entre los 160.000 y los 200.000 kilómetros, lo que, sumado a su alto coste, representa una gran desventaja.

Rendimiento en bajas temperaturas: las baterías de automóviles eléctricos aún presentan serios problemas cuando son exigidas en condiciones de temperaturas muy bajas, presentando una notoria pérdida de eficiencia.

Autonomía: este es un tema relacionado directamente con las baterías, su tamaño y la tecnología utilizada la autonomía de los coches eléctricos es aún

limitada en comparación con un motor de combustión interna, aunque ya se cuenta con coches que ofrecen hasta 600 kilómetros de autonomía –lo cual resulta ideal–, se trata de vehículos de alta gama.

Los coches de segmento medio apenas ofrecen autonomía que va desde los 100 hasta los 200 kilómetros en promedio.

Tiempo de carga: Las baterías de iones de litio, cuando se cargan en estaciones dispuestas para tal fin, pueden obtener el 80 % de su capacidad en lapsos de tiempo relativamente cortos, que van desde los 15 hasta los 20 minutos. Por supuesto, esto no se compara con los 3 o 4 minutos que tardas en llenar el depósito de combustible de un auto convencional.

Cuando la carga se realiza en casa, en una toma normal de 220V, tarda 6 a 8 horas.

Coste de adquisición: A pesar de que estos coches tienen menores costes de operación y mantenimiento, los vehículos eléctricos tienen un coste de adquisición mucho más alto que el de un coche a gasolina. Además, el coste de las baterías, sigue siendo un factor que pesa en contra.

El futuro de la automoción se dirige hacia coches que sean más amables con el medio ambiente. Mientras se generalizan estas alternativas, la compra de un coche en una etapa de transición como la actual, podría no ser una opción inteligente, según el uso que hagas del mismo. [6]

Se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados que nos permite realizar en las diferentes etapas del proceso de diseño, un despliegue de alternativas corresponde hacer una evaluación de estas que sirva de base para la posterior toma de decisiones. [7]

Estas evaluaciones en general no se centran sobre un determinado elemento, sino que se deben ponderar distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo implican juicios de valor. Para tomar una decisión siempre deben estar presentes los dos elementos siguientes.

- a) Alternativas Como mínimo debe de disponerse de dos alternativas (lo más adecuado es entre 3 y 6) cuyas características deben ser diferentes.
- b) Criterios Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser

evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellas [8]

Dado que en todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de la ponderación de criterios. Existen numerosos métodos de evaluación que pueden agruparse en:

1. Métodos ordinales El evaluador clasifica por orden las diferentes soluciones alternativas para cada criterio. El inconveniente de estos métodos consiste en la dificultad de integrar los resultados de los distintos criterios en una evaluación global, ya que no es sensible a las ponderaciones de los criterios.
2. Métodos cardinales. El evaluador debe cuantificar sus juicios en relación con la efectividad de las alternativas y a la importancia de los criterios. Estos métodos facilitan la integración de las evaluaciones parciales en un resultado global, pero a menudo la cuantificación puede resultar arbitraria, especialmente en las etapas iniciales de diseño. [9]

Método ordinal corregido de criterios ponderados

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de la evaluación global. Es por ello que se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos. Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes: [10]

1 si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas

0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.

0 si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los

valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio. [11]

Alternativas:

Alternativa 1. Motor Motenergy ME-1003 Fuente

Tabla 1. Características motor Motenergy

Eficiencia	90%
Voltaje	48-72V
Peso 1	8Kg
Corriente continua máxima	400 A/1min
Torque máximo	240 lb-in o 16 Nm a 48V
Rotación Máxima	5000 rpm a 72V y 2600 rpm a 48 V
Diámetro	28 cm
Máxima temperatura de funcionamiento	155 °C
Dirección de rotación	Bi-direccional
Capacidad de carga	600 kg máx
Potencia 6	-9,5 KW

Alternativa 2. HEPU POWER TECHNOLOGY CO., LTDA.

Tabla 2. Características motor Hepu

El modelo	HPQ15-96V
La tensión nominal (CC)	96
La potencia nominal (kW)	15
Pico de potencia (kW)	120
La velocidad nominal (rpm).	3000r/min.
Pico de velocidad (RPM).	6500R/min.
Amperios (A)	170
Frecuencia (Hz)	102
Marca	HEPU

Alternativa 3. EMRAX 228

Tabla 3. Características motor EMRAX

Peso del motor eléctrico	11,5 kg
Controlador DC/AC	SAC-40
Potencia máxima del motor	40kW - 68 HP
Tensión nominal	200 V DC
Par continuo/pico	130 Nm / 250 Nm
Velocidad del motor	1900 rpm
Capacidad de energía 8	kW

Costo: Este parámetro permite evaluar los costos originados, de tipo monetario, representado en la adquisición de los productos.

Eficiencia: Es la capacidad que se da para cumplir y trabajar al máximo rendimiento en una función adecuada.

Adaptabilidad: Es la calidad de ajuste y acoplamiento, que se da, de un elemento en otro.

Facilidad de mantenimiento: Es el mantenimiento que se debe dar a un producto delimitado.

Voltaje Pico: Es la máxima capacidad física que se da en un circuito eléctrico, de un determinado elemento o producto.

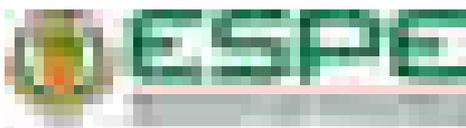
En primer lugar, se realiza un recuento de las constantes y variables de cálculo de este diseño.

Una vez definido todos los criterios se procede a jerarquizar en el siguiente orden:

1. Costo
2. Eficiencia
3. Voltaje Pico
4. Facilidad de mantenimiento
5. Adaptabilidad

Los criterios de valoración que se consideraron son:

- a) Al adquirir tecnología de punta para el desarrollo del proyecto los costos son elevados y es una fuerte limitante para alcanzar los resultados esperados.



- b) Alta eficiencia considera los aspectos que permitan la obtención de la autonomía requerida.
- c) Voltaje pico adecuado que garantice el funcionamiento del sistema.
- d) Procesos de mantenimiento que procuren la fiabilidad del automotor.
- e) El objetivo del proyecto es la adaptabilidad del motor eléctrico al vehículo modificado.

Tabla 4. Valoraciones

Costo > Eficiencia > Voltaje Pico > Facilidad de mantenimiento = Adaptabilidad						
Criterio	Eficiencia	Voltaje Pico	Facilidad de mantenimiento	Adaptabilidad	Σ +	Ponderado
Costo	1	1	1	1	5	0.333
Eficiencia	0	1	1	1	4	0.267
Voltaje Pico	0	0	1	1	3	0.200
Facilidad de mantenimiento	0	0	0	0.5	1.5	0.100
Adaptabilidad	0	0	0	0.5	1.5	0.100
Total					15	1

Según la evaluación del criterio de costo, la alternativa 2, tiene una ponderación mayor que la alternativa 1 y que la 3, concluyendo que el motor de Marca HEPU POWER TECHNOLOGY CO., LTDA. es más accesible que el de tipo Monternigy Drive y que el EMRAX 228.

Tabla 5. Evaluación del criterio de costo

Alternativa 2 > Alternativa 1 = Alternativa 3					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Σ +	Ponderado
Alternativa 1		0	0,5	1,5	0,25
Alternativa 2	1		1	3	0,5
Alternativa 3	0	0,5		1,5	0,25
Total				6	1

En la evaluación planteada referente al criterio de Eficiencia, se concluye que las 3 alternativas tienen características similares

Tabla 6. Evaluación del criterio de Eficiencia

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					
Eficiencia	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Σ +1	Ponderado
Alternativa 1		0.5	0.5	2	0.333
Alternativa 2	0.5		0.5	2	0.333
Alternativa 3	0.5	0.5		2	0.333
Total				6	1.000

El análisis del voltaje pico determina que la alternativa 2 y 3 tienen un voltaje pico similar, en tanto que la alternativa 1 es menor.

Tabla 7. Evaluación del criterio del voltaje pico

Alternativa 2 = Alternativa 3 > Alternativa 1					
Voltaje Pico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+$ 1	Ponderado
Alternativa 1		0	0	1	0,166
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,417
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,417
Total				6	1,000

La evaluación de mantenimiento considero rotación de repuestos, procesos de mantenimiento y aspectos técnicos del motor con lo cual la alternativa 1 y 2 tienen iguales valores, la opción 3 se encuentra muy por debajo.

Tabla 8. Evaluación del criterio de mantenimiento

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3					
Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+$ 1	Ponderado
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,417
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,417
Alternativa 3	0	0		1	0,166
Total				6	1,000

Según la propuesta planteada referente al criterio de Adaptabilidad, se concluye que las opciones tienen similares cualidades ya que estos motores son exclusivamente para la implementación en vehículos que se quieren convertir a eléctricos.

Tabla 9. Evaluación del criterio de adaptabilidad

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					
Adaptabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+$ 1	Ponderado
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,333
Total				6	1,000

De los resultados obtenidos considerando los criterios de análisis se toma como prioridad la alternativa 2 - Hepu Power Technology Co., Ltda.

Tabla 10: Tabla de conclusiones

Conclusiones	Costo	Eficiencia	Volataje Pico	Mantenimiento	Adaptabilidad	$\Sigma+$ 1	Ponderado
Alternativa 1	0.08325	0.08891	0.0332	0.0417	0.0333	1.28036	0.32
Alternativa 2	0.1665	0.08891	0.0834	0.0417	0.0333	1.41381	0.35
Alternativa 3	0.08325	0.08891	0.0834	0.0166	0.0333	1.30546	0.33
Total						4	1,000

Los datos técnicos del motor seleccionado establecen 15Kw de potencia para lo cual se va a justificar que el valor dado cumple con los requerimientos del sistema de la siguiente manera.

$$P_{\text{máx}} = 1050 \text{ Kg} \cdot g \cdot \text{pesaje}$$

Dónde:

Potencia Máxima = P_{máx}.

F_{máx}. = 1050 Kg dato originado del pesaje del auto después de las respectivas modificaciones

V_{máx}. = Velocidad máxima en las zonas urbanas es de 50 km/h = 13.889 m/seg. (ANT, 2019)



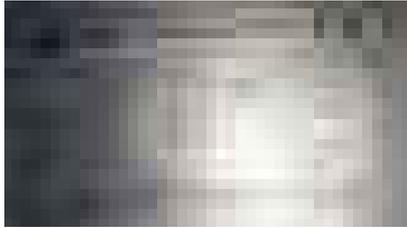


Figura 3-. Placa del motor eléctrico [12]

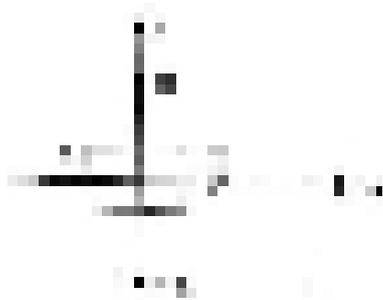


Figura 4. Diagrama de cuerpo libre

Tabla 11. Valores promedio del coeficiente de fricción longitudinal

Superficie de Rodamiento	Valor máximo de μ	Valor de deslizamiento de μ
Asfalto Seco	0,8 - 0,9	0,75
Hormigón Seco	0,8 - 0,9	0,76
Asfalto húmedo	0,5 - 0,7	0,45 - 0,6
Hormigón húmedo	0,8	0,7
Grava	0,6	0,55
Nieve	0,2	0,15
Hielo	0,1	0,07



Número de baterías.

Se selecciona la batería con la relación del voltaje del motor y voltaje de la batería.

V = voltaje del motor = 96 Voltios.

v = voltaje de cada batería = 12 Voltios

N = Número de baterías

Obteniendo un total de ocho baterías

Autonomía del Vehículo

La autonomía se determina de la siguiente manera:

- $V_{m\acute{a}x.}$ = Velocidad máxima en las zonas urbanas es de 50 km/h = 13.889 m/seg. Valor referencial tomado de la Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador
- C : Corriente de cada batería (A): 37.5 A
- Capacidad Nominal de la Batería: 150 Ah
- T : Tiempo de Autonomía (s)
- d : Distancia de Autonomía (m)

Como no se tiene el tiempo de autonomía se procede a determinar de la siguiente manera, tal y como lo muestra la Figura 5.

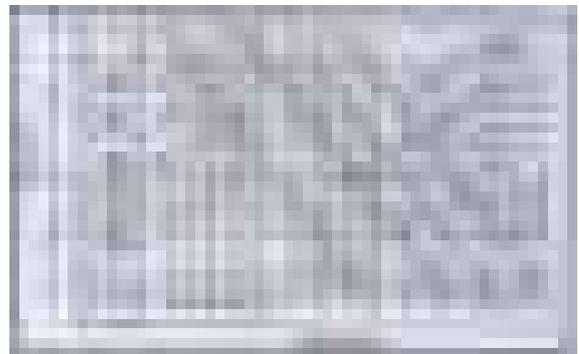


Figura 5. Corriente vs tiempo de descarga para motores

En base a la corriente de descarga que es de 37.5 Amperios y la Capacidad Nominal de la

Batería: 150 Ah, se determina que el Tiempo de Descarga de la Batería es de 3 Horas.

Una vez determinado el Tiempo de Autonomía nominal de 3 horas, se procede a determinar

la Distancia de ideal de recorrido de la siguiente manera:



2. Conclusiones

Basados en los criterios de selección costo, eficiencia, adaptabilidad, mantenimiento y voltaje pico, determinamos que la fuente con mayor poder para el vehículo Volksrod es el motor marca Hepu Power Techonology Co., Ltda.

Se consideró distintos tipos de escenarios en las pruebas de ruta, obteniendo que en 21 Km de recorrido las baterías evidenciaron un 25% de desgaste, permitiendo determinar que el vehículo en terreno plano podrá llegar a los 84 Km antes de una descarga total de las baterías y en tramos sinuosos en un recorrido de 26 Km un desgaste del 40%, por lo que a los 65 Km de recorrido las baterías requieren carga.

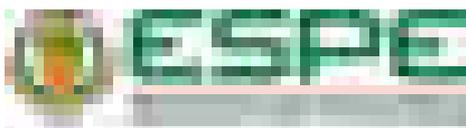
Las 8 baterías permitirán alcanzar distancias cortas como Ambato - Baños, dentro de los márgenes establecidos de velocidad en un rango promedio de 50 km/h, con una potencia máxima de 15 KW y durabilidad de 3 horas, para lo cual se tiene tres opciones de abastecimiento de energía, la primera con una toma directa con un tiempo de carga de 2 horas, la segunda con una toma a 220v con un tiempo de carga de 4 horas y la tercera con una toma de 110v con el tiempo de carga de 6 horas.

3. Referencias

- [1] Electromovilidad., «<http://electromovilidad.net/>,» 2020. [En línea]. Available: <http://electromovilidad.net/tipos-de-motores-electricos/>. [Último acceso: 02 2020].
- [2] S. SIMON, «simon,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>. [Último acceso: 2019].
- [3] M. Daniel, «Los motores son también clave en el desarrollo del coche eléctrico; no todo es cuestión de baterías,» 12 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias>. [Último acceso: 12 12 2019].
- [4] A. Ramos y F. Soto, «Propuesta del prototipode un vehículo eléctrico sustentable,» de Propuesta del prototipode un vehículo eléctrico sustentable,

México, Autor-Editor, 2013.

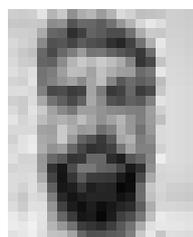
- [5] forococheselétricos, «forococheselétricos,» 2019. [En línea]. Available: <https://forococheselétricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>. [Último acceso: 2019].
- [6] leaseplan, «leaseplan,» 21 12 2017. [En línea]. Available: <https://www.leaseplango.es/blog/comparativa/coche-combustion-vs-coche-electrico-gana/#:~:text=En%20el%20motor%20de%20combusti%C3%B3n,se%20requieren%20bobinas%20m%C3%A1s%20grandes..> [Último acceso: 2019].
- [7] Cabrera Paredes, A. X., & Calle Pérez, C. R. (2016). Selección del motor eléctrico, controlador y batería para el vehículo Formula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana (Bachelor's thesis).
- [8] Rocha-Hoyos, J., Tipanluisa, L. E., Reina, S. W., & Ayabaca, C. R. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. Información tecnológica, 28(2), 29-36.
- [9] Verucchi, C., Bossio, G., García, G., & Ruschetti, C. (2007). Algunas pautas para la selección de motores de propulsión en vehículos eléctricos. XII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Río Gallegos, 16.
- [10] Sanmillan Blasco, M. (2020). Concepcion y desarrollo de la tracción eléctrica de un vehículo Formula Student (Doctoral dissertation).
- [11] Durán, M., & Guerrero-Ramírez, G. (2009). Determinación de los requerimientos de par, velocidad angular y potencia para el motor de un vehículo eléctrico. sign, 1, 0.
- [12] Cadena, J. R. A., Erazo, F. A. V., Erazo, C. M. V., & Avila, J. S. O. (2020). INSTALACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO PARA PROPULSIÓN DE UN VEHÍCULO Y ACOPLE A SU SISTEMA DE TRANSMISIÓN. TECH CARLOS CISNEROS, 1(01).



4. Biografía



¹Juan Ballesteros. – Maestría en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional (Universidad Nacional de Chimborazo), Diplomado Superior en Currículo por Competencias (Universidad Técnica de Ambato), Ingeniero de Ejecución en Mecánica Automotriz (Escuela Politécnica del Ejército), Docente de Mecánica Automotriz en el Instituto Superior Tecnológico Guayaquil.



²Vladimir Miranda. – Maestrante de Pedagogía con mención en Educación Técnica Tecnológica (Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ambato), Ingeniero Automotriz (Escuela Superior Politécnica del Chimborazo). Diplomado en Gestión del Mantenimiento, Formador de formadores, Docente de Mecánica Automotriz en el Instituto Superior Tecnológico Guayaquil.



³Lizbeth Bayas. - Ingeniera en Marketing y Gestión de Negocios (Universidad Técnica de Ambato), Formador de formadores, Diseño de experiencia en Servicios, Asesora de admisión por la Universidad Autónoma de Los Andes UNIANDES



⁴Diego H. Punina. – Ingeniero Automotriz (Escuela Superior Politécnica del Chimborazo). Diplomado en Gestión del Mantenimiento, Formador de formadores, Docente de Mecánica Automotriz en el Instituto Superior Tecnológico Guayaquil.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN	
Fecha recepción	30 octubre 2020
Fecha aceptación	05 Diciembre 2020

**TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA
INNOVACIÓN Y FUTURO (EN ESPAÑOL)**

**TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA
INNOVACIÓN Y FUTURO (EN INGLES)**

¹Nombre Apellido Autor , ² Nombre Apellidos Autor, ³ Nombre Apellidos Autor,
¹⁻²⁻³ Institución o filiación , Dirección
E-mail : ^{1 2,3}

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 1()

RESUMEN

Se presentan las instrucciones generales para presentar el artículo científico en la Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro Vol. 4 necesarios para ser considerada su publicación.

El resumen presenta el objetivo, alcance, resultados que sean fácilmente identificables por los lectores.

Debe contener de 150 a 250 palabras. Use la letra tipo Times New Roman en tamaño 11 en texto justificado.

Palabras clave:

Palabras que relacionan el contenido del artículo que se encontrarán en el resumen serán de 3 a 5 citándose en orden alfabético.

ABSTRACT

Redacción del resumen en inglés

Keywords:

Palabras claves en inglés.

1. INTRODUCCIÓN

Documento en plantilla de Microsoft Word para la preparación de artículos. Incluye una descripción de las fuentes, espaciados e información relacionada para generar la versión final, se adjunta archivo de ejemplo.

Redactado en página A4 , los márgenes deben ser: superior, inferior , izquierdo y derecho 25 mm.

La hoja debe estar dividida en dos columnas.

La versión final del artículo se debe enviar sin el nombre de los autores para su revisión por pares ciegos en un archivo en formato PDF con el fin de publicarlo en línea y en formato Word para su publicación impresa.

Para consultas dirigirse a:
wgerazo@espe.edu.ec ,
innovacion-el@espe.edu.ec

Instrucciones.

No exceder más de 7000 palabras entre 8 y 10 carillas máximo e incluir:

- Título en español e inglés
- Autores y su filiación institucional
- Resumen en español e inglés
- Palabras clave en español e inglés

Contenido del Artículo:

1. Introducción

- Fundamentación
- Definiciones
- Revisión de literatura
- Formulación de objetivos y establecimiento de hipótesis

2. Materiales, fuentes y métodos

- Recopilación de datos
- Tratamiento de las variables
- Análisis estadístico
- Material adicional
- Figuras
- Tablas

- Resultados
- Discusión
- Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Material adicional

NORMATIVA:

Título principal

El título del artículo debe estar centrado y con fuente Times New Roman tamaño 14, escrito con letras mayúsculas y con la primera letra de las palabras mayores en mayor tamaño

Nombre del Autor(s) y afiliaciones

Los nombres del autor(es) deben estar centrados abajo del título y con fuente Times New Roman tamaño 8, sin negrita tal como se indica en la parte superior de este documento.

Se escribirá primero el nombre y luego el apellido.

Si el artículo tiene más de un autor, los nombres estarán separados por comas de manera que todos los nombres se los autores estén en una sola línea. Los detalles de los autores no deben mostrar ningún título profesional como PhD, MSc, Dr.

Utilizar editor de ecuaciones de Microsoft Word.

Enumere las ecuaciones consecutivamente colocando la numeración entre paréntesis y alineándola con el margen derecho.

La ecuación debe estar centrada.

Utilizar unidades del sistema métrico SI.

REFERENCIAS

Aquí se colocará la bibliografía utilizada.

Verificar las citas colocadas, considerar la norma:

APA
IEEE

Las referencias se presentan al final ordenadas numéricamente en corchetes [1] según el orden de aparición en el texto. Un punto debe seguir al paréntesis



[2].

Referencias múltiples pueden citarse con paréntesis separados por un guión [1]–[3]. Cuando se cite un libro indicar las páginas con la información relevante.

Al final del artículo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

Usar “et al” si hay seis autores o más.

Resultados y Discusión

Analizar datos, valores curvas obtenidas en el proceso de desarrollo del artículo o investigación.

Conclusiones

Obtenidas de los datos obtenidos.

Biografía.

Incluir fotografía formal y actualizada, con estudios y títulos académicos, funciones en la institución.

El resto de artes y diseños se colocaran por parte de la editorial.

PROCESO DE EVALUACIÓN POR PARES

La revista Energía y Mecánica dispone de registro ISSN 1390-7395 conferido por la SENESCYT a petición de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Todo artículo debe ser inédito, el mismo que se enviará previa convocatoria al Comité Editor de la Revista, la cual siguiendo el proceso de calificación y arbitraje por pares especialistas a ciegas quienes considerarán su publicación.

Responsabilidades de los Revisores

a) Aporte a la decisión editorial

El proceso de revisión por pares ayuda al Editor de la revista a tomar decisiones editoriales y a través de la comunicación editorial con el autor también ayuda a mejorar la calidad y el texto de un manuscrito sometido a la revista. Los revisores se comprometen en realizar una revisión crítica, constructiva y honesta de la calidad científica de un manuscrito.

b) Respeto a los plazos de revisión

El revisor que no se sienta adecuado para realizar la tarea propuesta o que crea que no puede realizar la revisión en el tiempo requerido por la revista deberá informar al Editor de forma inmediata.

c) Confidencialidad

Cualquier texto asignado para su lectura será considerado confidencial. Por lo que dichos textos no deben discutirse con otras personas sin el permiso expreso del Editor.

d) Objetividad

La revisión por pares debe realizarse objetivamente. Cualquier juicio personal sobre el autor es inapropiado. Se requiere que los revisores justifiquen adecuadamente los juicios y comentarios realizados de un manuscrito.

e) Reconocimiento a fuentes de información

Los revisores se comprometen a indicar con precisión las referencias bibliográficas de trabajos fundamentales que el autor podría pasar por alto. Estas recomendaciones deben hacerse de manera transparente sin querer aumentar las citas a trabajos realizados por los mismos revisores. El revisor también debe informar al Editor de cualquier similitud o superposición del texto recibido para su revisión con otras obras que conozca.

f) Conflictos de interés y divulgación

La información confidencial o las indicaciones obtenidas durante el proceso de revisión por pares deben considerarse confidenciales y no pueden utilizarse para fines personales. Se requiere que los revisores no acepten revisar artículos para los que exista un conflicto de intereses debido a relaciones de colaboración o competencia con el autor y/o su institución de origen.

Responsabilidades de los Autores

a) Acceso y retención de datos

Si el Editor lo considera apropiado, los autores de los artículos también deberán hacer disponibles las fuentes o los datos en los que se basa la investigación desarrollada, para que puedan mantenerse durante un periodo de tiempo razonable después de la publicación y posiblemente hacerlos visibles.

b) Originalidad y plagio

Los autores deben garantizar que han escrito trabajos completamente originales y si los autores han utilizado el trabajo y/o las palabras de otros deberán indicarlo o citarlo correctamente en el manuscrito.

c) Publicaciones múltiples, repetitivas y/o concurrentes

El autor no debe publicar artículos que describan la misma investigación en más de una revista. Proponer el mismo texto a más de una revista al mismo tiempo es éticamente incorrecto e inaceptable.

d) Especificaciones de fuentes

El autor siempre debe proporcionar la indicación correcta de las fuentes y contribuciones mencionadas en el artículo. Un artículo debe contener suficientes detalles y referencias para permitir una respuesta.

e) Autoría de la obra

La autoría del trabajo debe ser correctamente atribuida y todos aquellos que han realizado una contribución significativa a la concepción, organización, implementación y reelaboración de la investigación que es la base del artículo deben indicarse como coautores. Si otras personas han participado significativamente en ciertas fases de la investigación, su contribución debe ser reconocida explícitamente. En caso de contribuciones de múltiples, el autor que envía el texto a la revista debe declarar que ha indicado correctamente los nombres de todos los demás coautores, que ha obtenido la aprobación de la versión final del artículo y su consentimiento para su publicación en la revista.

f) Conflicto de intereses y divulgación

Todos los autores deben indicar en su manuscrito cualquier conflicto financiero u otro conflicto de interés que pueda interpretarse de manera tal que influya en los resultados o la interpretación de su trabajo. Todas las fuentes de apoyo financiero para el proyecto deben ser divulgadas correctamente.

g) Errores en artículos publicados

Cuando un autor descubra un error significativo o una imprecisión en su trabajo publicado, debe notificar de inmediato al Editor de la revista para retirar o corregir el texto.

CÓDIGO DE ÉTICA

Energía Mecánica Innovación y Futuro es una revista científica revisada por pares, inspirada en el código de ética para publicaciones desarrollada por el Comité de Ética de Publicaciones (COPE – Committee on Publications Ethics).

Responsabilidades de los Editores**a) Decisiones de publicación**

El Editor de la revista es el responsable de decidir si publicar o no los artículos. El Editor se ampara en el Comité Científico de la revista y está sujeto a los requisitos de las leyes aplicables con respecto a la difamación, la infracción de derechos de autor y el plagio. El Editor de la revista puede comunicarse con otros editores o revisores para tomar sus propias decisiones.

b) Equidad

El Editor de la revista evalúa los artículos propuestos para su publicación en función de su contenido sin discriminación por motivos de raza, género, orientación sexual, religión, origen étnico, ciudadanía u orientación política de los autores.

c) Confidencialidad

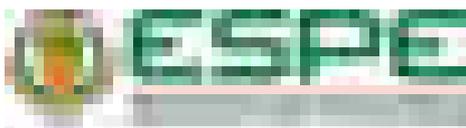
El Editor y cualquier miembro del Equipo Editorial de la revista no pueden divulgar ninguna información sobre un manuscrito enviado para la evaluación de la revista a ninguna persona excepto al autor de correspondencia, revisores, revisores potenciales, consultor editorial y editores de sección según corresponda.

d) Conflictos de interés y divulgación

Los materiales no publicados contenidos en un manuscrito enviado no deben utilizarse en a investigación del Editor o un miembro del Equipo Editorial de la revista sin el consentimiento expreso por escrito del autor.

POLÍTICAS PLAGIO

Energía Mecánica Innovación y Futuro fomenta la honestidad de los autores y sus publicaciones. En este sentido, el Editor General de la revista una vez que recibe el envío de un nuevo artículo se encarga de pasarlo por el sistema de detección de plagio URKUND, sistema que analizará el contenido



completo de cada manuscrito y generará un informe completo acerca de su originalidad. Luego de este proceso, el Editor General analizará este informe y de acuerdo a los resultados presentados (porcentaje de similitud) y siempre al considerar que se respeten los derechos de autor de terceros trabajos, determinará si cada uno de los artículos sometidos a la revista Maskay puede continuar con el proceso de revisión por pares.

- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud menor al 20% y que hayan respetado los derechos de autor de terceros serán procesados directamente.
- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud menor al 20% donde se evidencia que los derechos de autor de terceros no han sido respetados serán devueltos a sus autores con los comentarios respectivos para que realicen las correcciones pertinentes.
- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud moderado, es decir entre el 20% y 50%, serán devueltos a sus autores con los comentarios respectivos para que realicen las modificaciones necesarias con el fin de reducir el porcentaje de similitud. Además, se solicitará a los autores que envíen una carta donde se justifique el moderado porcentaje de similitud.
- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud elevado, es decir mayor al 50%, serán rechazados y sus autores pasarán a formar parte de una lista de autores de riesgo de la revista. Una vez que los autores hayan sido ingresados en esta lista podrán solicitar salir de la misma siempre y cuando presenten una carta donde se justifique de manera extensa el alto porcentaje de similitud alcanzado.



ESPE

ESPE is a leading provider of

