

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 2 · Número 2 · Diciembre 2020 · Publicación semestral



INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

REVISTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN

ISSN 2600-5565

Volumen 2

Número 2

Diciembre 2020

Publicación Semestral

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca, Quito - Ecuador

Contactos:

www.istct.edu.ec

www.investigacionistct.ec

email: investigacionistct20@gmail.comz

Tel.: 099 924 1151

Dirección General

MBA. José Luis Flores, Rector
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

Editor General

MSc. Katalina Sarmiento, Vicerrectora
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico Quito,
Ecuador.

MSc. Luis Daniel Andagoya Alba
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico Quito,
Ecuador.

Gestor de La Revista

MSc. Daniel Isaías Barzallo Núñez
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico Quito,
Ecuador.

*Aprobada mediante Resolución ROCS-SE-005-
No.002-2020, en la quinta Sesión Extraordinaria
del Órgano Colegiado Superior, a los veinte y cinco
(25) días del mes de junio de 2020.*

Comité Editorial Externo

PhD Diego Fernando Riofrío Luzcando Universidad
Internacional Sek
Quito-Ecuador.

PhD Antonio Gómez García
Universidad de Especialidades Espíritu Santo
Guayaquil-Ecuador.

MSc. Humberto Ramos Sánchez
Universidad Autónoma de México
México- México.

MSc. Gissele Estefanía Mosquera Campaña
Universidad de Manchester
Manchester-UK.

MSc. Rina Iliana Rosa Sanabria
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Tegucigalpa - Honduras

PhD(c). Elva Gioconda Lara Guijarro
Instituto Tecnológico Internacional
Quito-Ecuador

MSc. Flavio Anibal Corella Guerra
Instituto de Capacitación Profesional del Valle Quito-
Ecuador

Editores de Sección

MSc. Joyce Shirley Narváez Sarango
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico Quito,
Ecuador.

MSc. Lenin Daniel Valdivieso Simba
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

Maquetación

Ing. Hilda Jacqueline Montesdeoca Orozco Instituto
Superior Tecnológico Central Técnico Quito, Ecuador.

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

La aventura de descubrir



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

Ciencia y tecnología al servicio de la sociedad

Diciembre 2020

Prólogo



Desde su creación, las líneas de investigación en las cuáles se ha enfocado la Revista de Investigación Tecnológica IST Central Técnico, han sido la electricidad, mecánica automotriz, mecánica industrial y electrónica, sus publicaciones han sido sometidas a una estricta revisión por los miembros del comité científico conformado por profesionales con un alto grado de compromiso con la creación de conocimiento a través de la investigación e innovación, lo que garantiza el conjunto de actividades que se desarrolla para lograr una revista con calidad internacional.

En el mundo actual y globalizado en el que desarrollamos nuestras actividades, los cambios son acelerados y en este entorno las instituciones de educación superior debemos estar a la vanguardia de estos cambios; y, la única forma de hacerlo es a través de la investigación e innovación, en ese afán esta revista está comprometida con la comunidad educativa en presentar artículos que tengan pertinencia y sean de interés para los lectores.

En este contexto me complace en presentar y poner a la disposición de los lectores la cuarta edición de la revista, en las que se refleja las buenas prácticas de la investigación.

Ing. José Luis Flores Flores, MBA

Rector IST Central Técnico

Director General

Nota Editorial

La importancia de divulgar los trabajos científicos es esencial para el desarrollo tecnológico en la educación superior, por lo que el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico y su Coordinación de Investigación pone a disposición de toda la comunidad académica la cuarta edición de la revista de "Investigación tecnológica IST Central Técnico", que contiene artículos de investigación desarrollados en las áreas de conocimiento de electricidad, electrónica, mecánica automotriz y mecánica industrial.

En cada una de las áreas del conocimiento publicadas en esta edición, se reflejan trabajos de calidad que cumplen un riguroso proceso de revisión a cargo de expertos externos y un órgano editorial comprometido con publicar investigaciones que agreguen valor y sean fuente de conocimiento para todos los que formamos parte de la educación superior.

Agradecemos a nuestras autoridades conformadas por el Ing. José Luis Flores MBA, Rector, Lic. Katalina Sarmiento Mgs, Vicerrectora y a los miembros del órgano editorial de la revista, por el apoyo brindado y la confianza depositada para que se pueda llevar a cabo la publicación de esta cuarta edición.

Ing. Daniel Barzallo Mgs.

Editor General

Revista Investigación Tecnológica ISTCT

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

ÍNDICE

ANÁLISIS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA SIMPLES CON UNA, DOS Y TRES VARILLAS CONSIDERANDO LA SEGURIDAD DE LA VIDA HUMANA	7
ANÁLISIS DE RIESGOS HIGIÉNICOS EN TALLER DE SOLDADURA EN INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL	22
AUTOMÓVILES IMPULSADOS POR ENERGÍA SOLAR: UNA REVISIÓN	31
ESTUDIO COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTO TENSIL EN TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A500	40
DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE OBJETOS EN MOVIMIENTO EN ESPACIOS CERRADOS UTILIZANDO ALGORITMOS DE VISIÓN ARTIFICIAL	52
DISEÑO Y MODIFICACIÓN DE ALETAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN UN MOTOR ELÉCTRICO	65

ANALYSIS OF SIMPLE GROUNDING ELECTRODES WITH ONE, TWO AND THREE RODS CONSIDERING THE HUMAN LIFE SAFETY

ANÁLISIS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA SIMPLES CON UNA, DOS Y TRES VARILLAS CONSIDERANDO LA SEGURIDAD DE LA VIDA HUMANA

Juan David Ramírez¹ Miguel Argoti²

¹Departamento de Energía Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

E-mail: juan.ramirez@d@epn.edu.ec

²Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: rargoti@istct.edu.ec

RESUMEN

En este artículo se analiza el desempeño de electrodos de puesta a tierra simples formados por una, dos y tres varillas de metal debido a que este tipo de electrodos sencillos suele construirse en las instalaciones eléctricas residenciales sin estudios eléctricos y de manera antitécnica.

Se utiliza ETAP con su módulo de puestas a tierra con el método de elementos finitos FEM y se determina cómo se comportan estos electrodos en lo que se refiere a los voltajes de toque y de paso que producen.

Se determina que los electrodos de una y dos varillas son poco efectivos y peligrosos porque desarrollan voltajes de toque y paso muy elevados. El electrodo de tres varillas puede ser adecuado si se aplican algunos criterios descritos al final del artículo.

Palabras clave—electrodos de puesta a tierra; varillas de puesta a tierra; FEM; voltaje de toque; voltaje de paso, sistemas de puesta a tierra seguros.

ABSTRACT

This article analyzes the performance of simple grounding electrodes made up of one, two and three metal rods, since this type of simple electrodes is usually built in residential electrical installations without electrical studies and on an anti-technical way.

ETAP is used with its FEM finite element method grounding module and determines how these electrodes behave in terms of the touch and step voltages

Single and double-rod electrodes are found to be ineffective and dangerous because they develop very high touch and step voltages. The three-rod electrode may be suitable if some criteria described at the end of the article are applied.

Index terms—grounding electrodes; grounding rods; FEM; step voltage; touch voltage; safe grounding systems.

1. INTRODUCCIÓN.

Conectar los sistemas eléctricos a tierra es una decisión que debe ser tomada por los ingenieros dedicados a planificar o a modificar la distribución de la energía eléctrica. Generalmente esta conexión se recomienda, aunque existen excepciones, y también múltiples métodos y criterios que se pueden aplicar, y cada uno de esos métodos tiene su propio propósito (IEEE, 2013), (IEEE, 2007, p. 7).

Los Sistemas de Puesta a Tierra SPT que se aplican en las redes de distribución de energía eléctrica y en instalaciones de bajo voltaje residenciales e industriales suelen estar en concordancia con las normas: IEEE 80-2013 IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE 142-2007 IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, NFPA 70 National Electrical Code, y a nivel nacional con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC (MIDUVI, 2013), (MIDUVI, 2018).

En el caso de los sistemas eléctricos industriales, comerciales y residenciales las consideraciones de la NEC que están tomadas de la norma NFPA 70 contienen los requisitos y consideraciones mínimas para garantizar la protección de la vida y de la propiedad, y deben ser cuidadosamente revisadas durante el diseño del SPT. A esas consideraciones se les puede añadir, sin negar los requisitos de la NEC, los criterios dados en las normas IEEE 80 e IEEE 142.

Entonces existe un marco normativo nacional e internacional de aplicación en el Ecuador para el diseño de SPT en sistemas eléctricos de tipo industrial, comercial y residencial; sin embargo, la motivación de este artículo es presentar el peligro que puede representar un electrodo de puesta a tierra mal considerado. Esta motivación nace de la

realidad ecuatoriana, donde en los hogares no se cuenta con un buen sistema de puesta a tierra que en varios casos se limita a una varilla enterrada junto con la acometida de la red de distribución, según se especifica en las Unidades de Propiedad del Catálogo Digital de Redes de distribución de Energía Eléctrica del Ecuador, en la especificación PTO-OAC8-1 de puesta a tierra de acometidas (MEER, 2020).

La aplicación de este tipo de puestas a tierra simples puede representar un peligro para las personas debido a los elevados voltajes de toque y de paso que pueden producir y que se analizarán en el contenido de este artículo. Adicionalmente, la generalización de este tipo de puestas a tierra lleva a que personal sin el suficiente conocimiento técnico ejecute la construcción de puestas a tierra sin entender los riesgos asociados a la instalación de una o dos varillas de tierra, por ejemplo.

Con este antecedente el objetivo de este artículo es analizar el efecto de los electrodos sencillos de puesta a tierra en los voltajes de toque y de paso del sistema de puesta a tierra. Estos electrodos sencillos serán considerados a partir de las geometrías más simples utilizadas en las instalaciones industriales y residenciales, como son enterrar una, dos o tres varillas de metal en el suelo.

1.1. ESTADO DEL ARTE

El análisis de los voltajes de paso y de toque de los electrodos de puesta a tierra es un tema tan antiguo como el desarrollo de la ingeniería eléctrica. La evolución de los sistemas de cálculo computacionales permite tener en la actualidad herramientas útiles para hacer estos análisis con mayor facilidad. En los últimos años siguen publicándose artículos científicos que abordan esta temática. (Kumar & Bharadwaj, 2015) estudiaron el efecto de la variación de los parámetros de las

mallas de puesta a tierra para evaluar el desempeño del SPT, y observaron que: al incrementar el espacio entre conductores de la malla el voltaje de la malla se incrementa, pero el voltaje de paso disminuye. Que con la profundidad de entierro de los conductores el voltaje de la malla y el voltaje de paso se reduce, pero sólo hasta cierta profundidad y luego se incrementa al enterrarlos más profundo, encontraron que una profundidad de 60 cm de entierro es adecuada. También observan que al aumentar el número de varillas de puesta a tierra disminuye el voltaje de la malla y de paso. Por otro lado, el efecto de aumentar el área de la malla es reducir el voltaje de la malla y de paso. Y finalmente el efecto de la resistividad del suelo es directo, es decir a mayor resistividad mayores voltajes de la malla y de paso.

La norma IEEE 80 presenta un método de cálculo para mallas de puesta a tierra simples y con geometrías cuadrangulares. Sin embargo, cuando se requiere analizar geometrías diferentes como triangulares, circulares o irregulares, existen otros métodos matemáticos para el cálculo de los voltajes de la malla. Uno de esos métodos es el método de los elementos finitos FEM, este método matemático resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales de un problema de manera gráfica, por lo que es adaptable a softwares de diseño de tipo de dibujo asistido por computadora CAD, y permite visualizar hasta en 3 dimensiones el fenómeno físico estudiado, estos fenómenos en el área de la ingeniería eléctrica están dominados por las ecuaciones diferenciales de Maxwell que rigen el electromagnetismo, y por lo general la solución de estos problemas son los voltajes en el espacio (Ramírez et al., 2020), (Cabezas et al., 2020).

Por ejemplo, (Abdelkader et al., 2020) utilizan el método FEM con el programa COMSOL multiphysics para el diseño de sistemas de puesta a tierra y presentan con ejemplos la forma de utilizar un programa de tipo FEM para resolver los

voltajes de un electrodo de puesta a tierra. Por su parte (Brenna et al., 2018) utilizan el programa Ansys para ejecutar el diseño de electrodos de puesta a tierra con FEM. (Kasim et al., 2017) estudian de la misma manera mediante el método FEM con el programa ETAP el efecto de la geometría de una malla de puesta a tierra. En estos tres artículos se puede apreciar visualmente la utilidad de una herramienta FEM ya que se puede observar en el espacio 3D la solución del problema y observar cómo funciona un electrodo de puesta a tierra. Con el fin de observar ese efecto de los electrodos de puesta a tierra de manera gráfica, este artículo utiliza el método FEM para el análisis de los electrodos de puesta a tierra.

1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

El aterrizamiento de un sistema eléctrico es la conexión intencional a tierra de un conductor ya sea de fase o neutro con el propósito de controlar el voltaje respecto a tierra dentro de límites predecibles y para proveer un camino para el flujo de corriente que permitirá la detección de una conexión indeseable entre los conductores y la tierra, esta detección iniciará la operación de los dispositivos de protección del sistema eléctrico (IEEE, 2007).

Cuando en el sistema eléctrico ocurre una falla o hay una descarga atmosférica, la corriente fluye y se disipa a tierra por el electrodo de tierra. El electrodo de tierra es un conductor embebido en el suelo que recolecta esas corrientes y las disipa en el suelo. El electrodo de tierra posee una resistencia al paso de la corriente y es la resistencia de la puesta a tierra, o la resistencia del sistema de puesta a tierra. El producto de la corriente que fluye por el electrodo de puesta a tierra y su resistencia es un voltaje llamado elevación del potencial de tierra GPR, y este es un voltaje que el SPT puede alcanzar con referencia a un punto

lejano que se asume a potencial cero. El GPR se puede apreciar en la Figura 1 (IEEE, 2013).

El suelo no tiene un valor fijo de resistencia eléctrica, sino que varía en función de sus propiedades geológicas, y es poco uniforme en la mayoría de los casos, eso genera que el perfil de voltaje de la Figura 1 no sea regular, sino que se eleva en las cercanías del electrodo y va decayendo. Esto genera que en la superficie del suelo donde se ha construido el electrodo de puesta a tierra se presenten diferentes voltajes en diferentes posiciones. A la diferencia de voltaje que una persona puede experimentar en la superficie del suelo cuando está parada con los pies abiertos a una distancia de 1 m, se le conoce como voltaje de paso, por otra parte, a la diferencia de potencial que entre el GPR y una superficie donde una persona puede apoyarse con una mano mientras con sus pies está en contacto con el suelo se llama voltaje de toque (IEEE, 2013). El voltaje de paso se puede apreciar en la Figura 1.

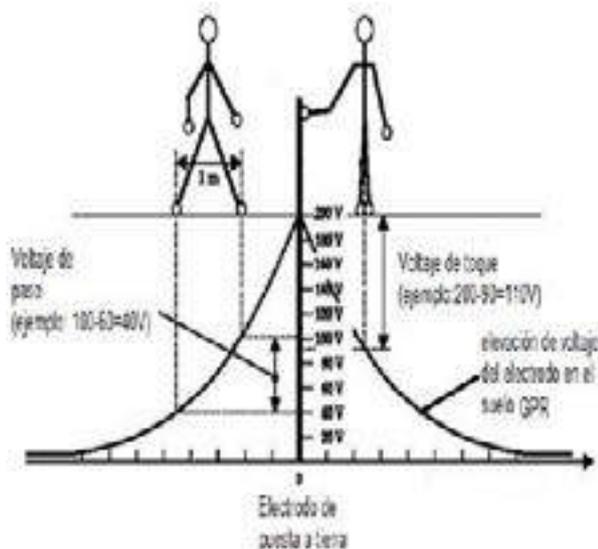


Figura 1 : Voltaje de paso y de toque de un sistema de puesta a tierra.

Fuente: adaptado de IEEE 80-2013

1.3.SEGURIDAD DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Cuando un diseñador crea un sistema de puesta a tierra busca tener una resistencia del electrodo que sea baja, pero no debe ser el único objetivo de su diseño. Deberá considerar los voltajes GPR, de toque y de paso que genera el electrodo porque sobre el electrodo existirá el tránsito de personas, que pueden quedar expuestas a estos voltajes cuando se descarga una corriente por el electrodo y si estos voltajes son más altos de los que puede tolerar el cuerpo de una persona pueden causar su muerte.

En (IEEE, 2013) se definen los voltajes de toque y de paso tolerables por una persona de 50 kg y de 70 kg, y el criterio de seguridad del electrodo es que los voltajes de toque y de paso que se generan no deben superar a los voltajes de toque y de paso tolerables por una persona. El voltaje de toque tolerable por una persona de 50 kg está dado en (1), el voltaje de paso tolerable por una persona de 50 kg está dado en (2), el voltaje de toque tolerable por una persona de 70 kg está dado en (3) y el voltaje de paso tolerable por una persona de 70 kg está dado en (4). Una forma de reducir los voltajes de toque y de paso es colocar una capa superficial de protección sobre el suelo de un material de alta resistividad como piedras, ripio lavado, cemento.

$$E_{toque50} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right) \quad (1)$$

$$E_{paso50} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right) \quad (2)$$

$$E_{toque70} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \left(\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \right) \quad (3)$$

$$E_{paso70} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \left(\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \right) \quad (4)$$

Donde:

E_{toque} voltaje de toque en voltios

E_{paso} voltaje de toque en voltios

C_s factor de decrecimiento de la capa superficial

t_s duración de la corriente de falla en segundos

ρ_s resistividad de la capa superficial en $\Omega \cdot m$

Cuando no se utiliza una capa superficial de protección $C_s = 1$ y $\rho_s = \rho$ resistividad de suelo.

En el diseño del electrodo de puesta a tierra, en la práctica resulta difícil controlar los voltajes de toque y de paso sin comprometer el costo de la obra de construcción, ya que se puede reducir estos voltajes con el incremento de varillas, del área, el cambio del suelo o el cambio de espaciamientos de los conductores del electrodo (Kasim et al., 2017), (Kumar & Bharadwaj, 2015).

Esta dificultad hace que el diseñador deba encontrar un equilibrio entre un diseño seguro y económico (S. S. M. Ghoneim & Taha, 2016), (Unde & Kushare, 2012). El proceso de diseño se convierte en un proceso repetitivo e iterativo donde se debe corregir el diseño hasta obtener un resultado satisfactorio. Para ello el diseñador debe conocer también cómo se comporta el electrodo a través de la obtención de perfiles de voltaje en el espacio que le permitan observar los efectos del cambio de sus diseños (S. Ghoneim et al., 2006).

Cuando se trabaja en un SPT en áreas pequeñas, como el caso de instalaciones residenciales o comerciales resulta más difícil reducir estos voltajes y se deben considerar las mejores opciones para reducirlos (Rock et al., 2018).

En áreas pequeñas o suelos muy resistivos también es difícil diseñar un electrodo de baja resistencia, por lo que en la actualidad existen electrodos activados químicamente y que tienen grafito, estos electrodos son cilindros de longitudes y diámetros seleccionables y que presentan bajos valores resistivos, en especial por la presencia del grafito que es un material que puede manejar altas corrientes y tiene resistencias muy bajas (Tang et al., 2016), (Huang et al., 2019).

La gran efectividad de los electrodos activados para reducir la resistencia de puesta a tierra tiene como efecto negativo que algunos constructores los instalen sin ningún tipo de diseño, simplemente se entierran los electrodos y se obtienen resistencias de puesta a tierra muy bajas. Pero no se analiza el efecto de los voltajes de toque y de paso, debido a que la forma de un electrodo activado es prácticamente similar al de una varilla, el análisis que se realiza en este artículo para una varilla es aplicable para un electrodo activado.

2. MÉTODOS

2.1. Software y método de solución

Para la solución de los voltajes de los electrodos de puesta a tierra se utilizó el software ETAP con su módulo de puestas a tierra y con el método de solución de elementos finitos FEM. El estudio se limita a redes de bajo voltaje de tipo residencial e industrial, con dos capas de suelo, y con la puesta a tierra independiente. Los parámetros de simulación comunes basados en la experiencia en el trabajo de campo y valores típicos publicados (Hatziargyriou & Lorentzou, 1997) fueron los siguientes:

- Temperatura ambiente de 20 °C
- Tiempo de falla t_s 0.5 s
- Relación X/R=1
- Factor de división $S_f = 100 \%$
- Factor de crecimiento $C_p = 100 \%$
- Capa de material superficial de 20 cm y $\rho_s = 2500 \Omega \cdot m$
- Varillas de cobre comercial, de 1.80 m de longitud, 16 mm de diámetro, conductividad de 97 S
- Capa 1 del suelo con profundidad de 5 m
- Profundidad de enterramiento del electrodo de 0.6 m

Tabla 1
 Casos de estudio para el análisis de electrodos de puesta a tierra

Electrodo	Caso	Corriente de Falla [A]	Resistividad Capa inferior Suelo [Ω .m]	Resistividad Capa superior Suelo [Ω .m]	Resistividad Capa superficial [Ω .m]
1 varilla	1	1 000	100	100	2 500
	2	200	100	100	2 500
	3	3 000	100	100	2 500
	4	1 000	100	100	0
	5	200	100	100	0
	6	3 000	100	100	0
	7	1 000	1 000	1 000	2 500
	8	200	1 000	1 000	2 500
	9	3 000	1 000	1 000	2 500
	10	1 000	50	50	2 500
	11	200	50	50	2 500
	12	3 000	50	50	2 500
2 varillas, conductor de cobre 35 mm ² (AWG 2), espacio entre varillas 3 m	13	1 000	100	100	2 500
	14	200	100	100	2 500
	15	3 000	100	100	2 500
2 varillas, conductor de cobre 70 mm ² (AWG 2/0), espacio entre varillas 3 m	16	1 000	100	100	2 500
	17	200	100	100	2 500
	18	3 000	100	100	2 500
2 varillas, conductor de cobre 35 mm ² (AWG 2), espacio entre varillas 5 m	19	1 000	100	100	2 500
2 varillas, conductor de cobre 35 mm ² (AWG 2), espacio entre varillas 10 m	20	1 000	100	100	2 500
2 varillas, conductor de cobre 70 mm ² (AWG 2/0), espacio entre varillas 5 m	21	1 000	100	100	2 500
2 varillas, conductor de cobre 70 mm ² (AWG 2/0), espacio entre varillas 10 m	22	1 000	100	100	2 500
3 varillas, conductor de cobre 35 mm ² (AWG 2), espacio entre varillas 5 m en línea	23	1 000	100	100	2 500
3 varillas, conductor de cobre 35 mm ² (AWG 2), espacio entre varillas 5 m en triángulo	24	1 000	100	100	2 500
sin varillas, conductor de cobre 35 mm ² (AWG 2), espacio entre varillas 5 m en triángulo	25	1 000	100	100	2 500
3 varillas, conductor de cobre 70 mm ² (AWG 2/0), espacio entre varillas 5 m en triángulo	26	1 000	100	100	2 500

Fuente: Propia.

2.2. Casos de estudio

Con el fin de analizar los voltajes de los electrodos se definieron varios casos de estudio que permitieron observar efectos comunes de los electrodos con varillas y conductores de cobre. Los casos de estudio se presentan en la Tabla 1. El sistema eléctrico de tipo residencial e industrial en

el que se consideran estos electrodos la corriente de falla puede estar en un rango de centenas a un par de miles de amperios (Tleis, 2007). Se escogieron tres valores de corriente con el fin de observar el efecto de un cambio en ella en los voltajes del electrodo.

3. RESULTADOS

La simulación de los casos de estudio descritos en la sección dos se presentan en este apartado.

Tabla 2
Resultados de la simulación del electrodo de puesta a tierra con una varilla.
Resistividad del suelo 100 Ωm

Resultado	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
Voltaje de toque máximo [V]	47 604.6	9 520.9	142 813.8	47 604.6	9 520.9	142 813.8
Voltaje de paso máximo [V]	3 643.1	728.6	10 929.3	3 643.1	728.6	10 929.3
E _{toque70} [V]	907.8	907.8	907.8	255.3	255.3	255.3
E _{paso70} [V]	2 956.3	2 956.3	2 956.3	355.3	355.3	355.3
E _{toque50} [V]	670.8	670.8	670.8	188.7	188.7	188.7
E _{paso50} [V]	2 190.9	2 190.9	2 190.9	262.5	262.5	262.5
GPR [V]	48 314.0	9662.8	144 941.9	48 314	9 662.8	144 941.9
Resistencia de puesta a Tierra [Ω]	48.161	48.161	48.161	48.161	48.161	48.161

Fuente: Propia.

Tabla 3
Resultados de la simulación del electrodo de puesta a tierra con una varilla.
Resistividad del suelo 50 y 1000 Ωm

Resultado	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10	Caso 11	Caso 12
Voltaje de toque máximo [V]	476 045.9	95 209.2	1 428 137.6	23 802.3	4 760.5	71 406.9
Voltaje de paso máximo [V]	36 431	7 286.2	109 293.1	1 821.6	364.3	5 464.7
E _{toque70} [V]	962.9	962.9	962.9	904.8	904.8	904.8
E _{paso70} [V]	3 185.5	3 185.5	3 185.5	2 953.3	2 953.3	2 953.3
E _{toque50} [V]	711.4	711.4	711.4	668.5	668.5	668.5
E _{paso50} [V]	2 353.6	2 353.6	2 353.6	2 181.8	2 181.8	2 181.8
GPR [V]	483 139.7	96 627.9	1 449 419.1	24 157.0	4 831.4	72 471.0
Resistencia de puesta a Tierra [Ω]	481.609	481.609	481.609	24.08	24.08	24.08

Fuente: Propia.

En la Tabla 2 se encuentran los resultados del análisis de un electrodo formado por una varilla simple enterrada en el suelo con diferentes corrientes de falla y con un suelo uniforme.

En la Tabla 3 se encuentran los resultados del análisis de un electrodo formado por una varilla simple enterrada en el suelo con diferentes corrientes de falla y con un suelo de diferentes resistividades.

En la Tabla 4 se encuentran los resultados del

análisis de un electrodo formado por dos varillas enterradas en el suelo con diferentes corrientes de falla y unidas por un conductor de cobre a con una separación de 3 m.

En la Tabla 5 se encuentran los resultados del análisis de un electrodo formado por dos varillas enterradas en el suelo con diferentes corrientes de falla y unidas por un conductor de cobre a con una separación de 5 y 10 m.

Tabla 4
*Resultados de la simulación del electrodo de puesta a tierra con dos varillas.
Separación entre conductores de 3 m*

Resultado	Caso 13	Caso 14	Caso 15	Caso 16	Caso 17	Caso 18
Voltaje de toque máximo [V]	19 397.5	3 879.5	58 192.5	19 144.6	3 828.9	57 433.9
Voltaje de paso máximo [V]	3 184.3	636.9	9 552.8	3 243	648.6	9 729.0
E _{toque70} [V]	907.8	907.8	907.8	907.8	907.8	907.8
E _{paso70} [V]	2 965.3	2 965.3	2 965.3	2 965.3	2 965.3	2 965.3
E _{toque50} [V]	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8
E _{paso50} [V]	2 190.9	2190.9	2 190.9	2 190.9	2 190.9	2 190.9
GPR [V]	200 068.6	4 013.7	60 205.9	19 815.8	3 963.2	59 447.4
Resistencia de puesta a Tierra [Ω]	20.005	20.005	20.005	19.753	19.753	19.753

Fuente: Propia.

Tabla 5
*Resultados de la simulación del electrodo de puesta a tierra con dos varillas.
Separación entre conductores de 5 y 10 m*

Resultado	Caso 19	Caso 20	Caso 21	Caso 22
Voltaje de toque máximo [V]	15 840.5	10 993.8	15 570.5	10 754.6
Voltaje de paso máximo [V]	2 574.9	1 771.0	2 608.1	1 781.3
E _{toque70} [V]	907.8	907.8	907.8	907.8
E _{paso70} [V]	2 965.3	2 965.3	2 965.3	2 965.3
E _{toque50} [V]	670.8	670.8	670.8	670.8
E _{paso50} [V]	2 190.9	2 190.9	2 190.9	2 190.9
GPR [V]	16 489.0	1 159 334.0	16 219.1	11 354.1
Resistencia de puesta a Tierra [Ω]	16.437	11.557	16.168	11.318

Fuente: Propia.

En la Tabla 6 se encuentran los resultados del análisis de un electrodo formado por tres varillas enterradas en el suelo con diferentes corrientes de

falla y unidas por un conductor de cobre a con una separación de 5 en configuración lineal y de triángulo.

Tabla 6
Resultados de la simulación del electrodo de puesta a tierra con tres varillas.

Resultado	Caso 23	Caso 24	Caso 25	Caso 26
Voltaje de toque máximo [V]	10 186.8	9 468.5	12 273.6	11 903.3
Voltaje de paso máximo [V]	1 638.6	1 974.1	2 687.6	2 688.7
$E_{toque70}$ [V]	907.8	907.8	907.8	907.8
E_{paso70} [V]	2 965.3	2 965.3	2 965.3	2 965.3
$E_{toque50}$ [V]	670.8	670.8	670.8	670.8
E_{paso50} [V]	2 190.9	2 190.9	2 190.9	2 190.9
GPR [V]	10 785.4	10 262.3	13 067.2	16 296.9
Resistencia de puesta a Tierra [Ω]	10.751	10.23	13.026	12.65

Fuente: Propia.

Con el fin de observar las formas de los voltajes de los electrodos estudiados se presentan los perfiles de elevación de voltaje de los electrodos formados por una varilla con una corriente de falla de 1 000 A en la Figura 2 y 200 A en la Figura 3.

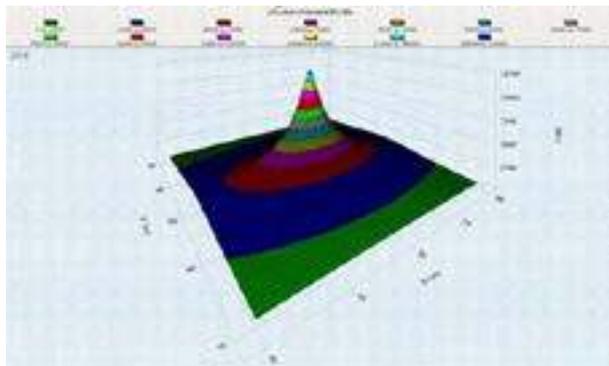


Figura 2 : Voltaje del electrodo de 1 varilla caso 1.
Fuente: propia

En la Figura 4 se presentan los perfiles de elevación de voltaje de los electrodos formados por dos varillas con una corriente de falla de 1 000 A con una separación de 3 m entre varillas, y en la Figura 5 el electrodo tiene 2 varillas separadas 5 m con una corriente de falla 200 A.

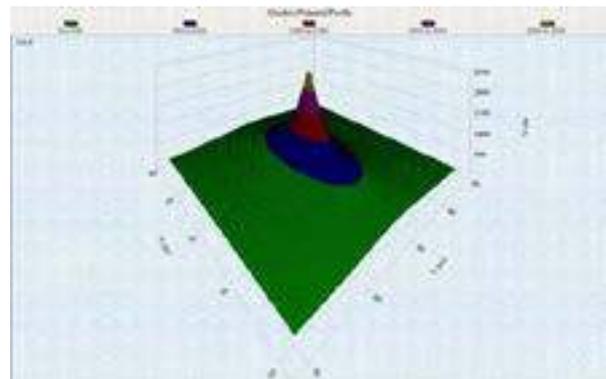


Figura 3 : Voltaje del electrodo de 1 varilla caso 2.
Fuente: propia

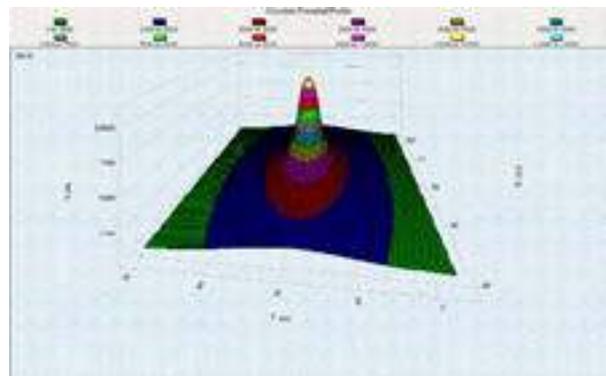


Figura 4 : Voltaje del electrodo de 2 varillas caso 13.
Fuente: propia

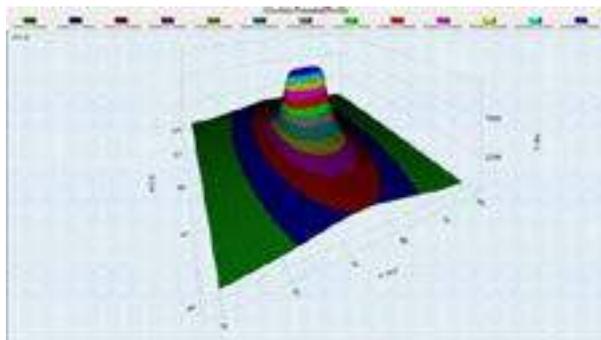


Figura 5 : Voltaje del electrodo de 2 varillas caso 22.
Fuente: propia

En la Figura 6 se presentan los perfiles de elevación de voltaje del electrodo formado por tres varillas con una corriente de falla de 1 000 A con una separación de 5 m en forma de triángulo.

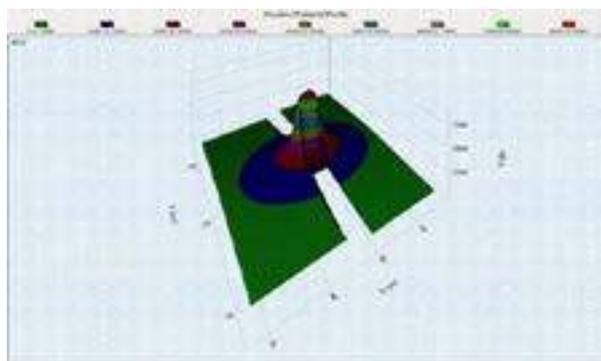


Figura 6 : Voltaje del electrodo de 3 varillas caso 26.
Fuente: propia

En la Figura 7 se puede apreciar la forma de los voltajes de paso del electrodo formado por una varilla con una corriente de falla de 1 000 A.

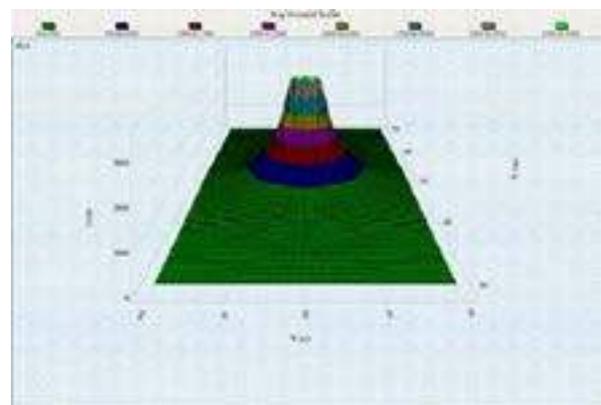


Figura 7 : Voltaje de paso del electrodo de 1 varilla caso 1.
Fuente: propia

En la Figura 8 se puede apreciar la forma de los voltajes de paso del electrodo formado por dos varillas con una separación entre varillas de 3 m y una corriente de falla de 1 000 A.

En la Figura 9 se puede apreciar la forma de los voltajes de paso del electrodo formado por tres varillas con una separación entre varillas de 5 m en forma de triángulo y una corriente de falla de 1 000 A.

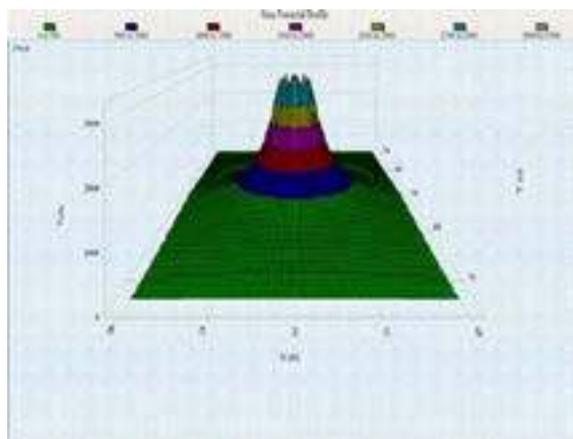


Figura 8 : Voltaje de paso del electrodo de 2 varillas caso 13.
Fuente: propia

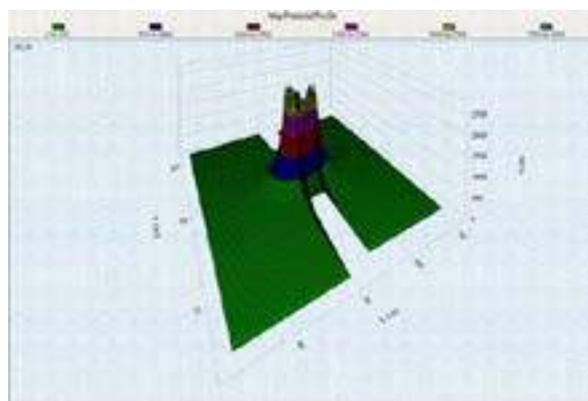


Figura 9 : Voltaje de paso del electrodo de 3 varillas caso 26.
Fuente: propia

En la Figura 10 se puede apreciar la forma de los voltajes de toque del electrodo formado por una varilla con una corriente de falla de 1 000 A.

En la Figura 11 se puede apreciar la forma de los voltajes de toque del electrodo formado por dos varillas con una separación entre varillas de 3 m y

una corriente de falla de 1 000 A.

En la Figura 12 se puede apreciar la forma de los voltajes de toque del electrodo formado por tres varillas con una separación entre varillas de 5 m en forma de triángulo y una corriente de falla de 1 000 A.

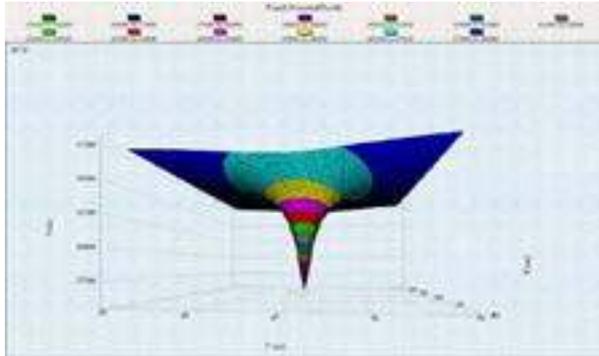


Figura 10 : Voltaje de toque del electrodo de 1 varilla caso 1.

Fuente: propia

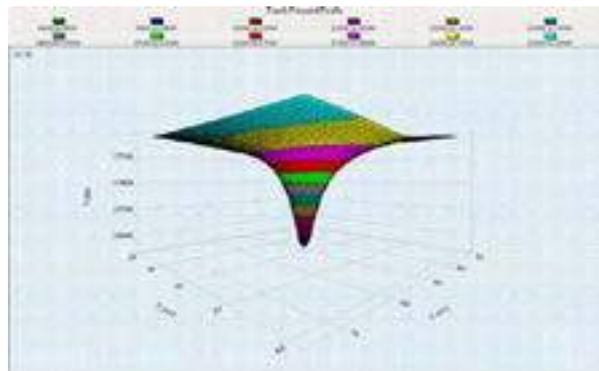


Figura 11: Voltaje de toque del electrodo de 2 varillas caso 13.

Fuente: propia

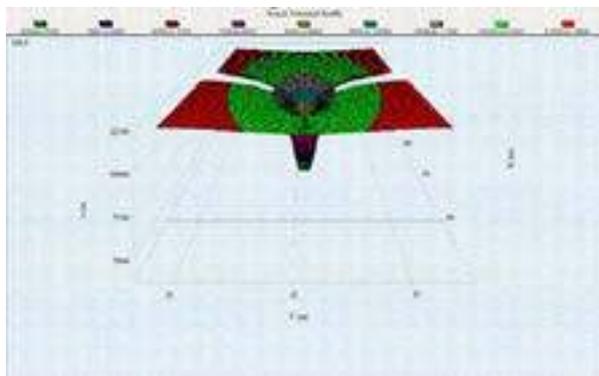


Figura 12 : Voltaje de toque del electrodo de 3 varillas caso 26.

Fuente: propia

4. DISCUSIÓN.

Las simulaciones de los electrodos de puesta a tierra formados por una varilla permiten observar y comprender su funcionamiento. En la Tabla 2 en los casos 1, 2 y 3 se probó el efecto de inyectar 1 000, 200 y 3 000 A con un suelo uniforme de 100 Ω .m. Estos valores de corriente son típicos para una red de bajo voltaje tanto residencial como industrial y considerando un suelo con un valor medio en resistividad. Lo que podemos observar en primer lugar es los altos valores de voltajes de toque y de paso que produce el electrodo, por ejemplo, en el caso 1 produce un voltaje de toque de 47.6 kV, en el caso 2 de 9.5 kV y en el caso 3 de 142.8 kV. Podemos observar que los voltajes de toque y de paso tolerables tanto de 50 kg como de 70 kg son independientes de estas corrientes y son iguales en los tres casos. De esta manera en el caso 1 y caso 3 los voltajes del electrodo superan los valores tolerables y en el caso 2 sólo el voltaje de paso del electrodo no supera al voltaje de paso tolerable. Esto se puede observar también en la Figuras 2 y 3 donde la gráfica indica la forma de la elevación de voltaje del electrodo, la cual tiene una forma cónica que alcanza su valor máximo GPR en el electrodo y decae rápidamente a medida que se aleja del electrodo. Esto produce que la diferencia de voltaje a 1 metro de espaciamiento, es decir el voltaje de paso sea alto. La forma de este voltaje de paso en el espacio se aprecia en la Figura 7. Por su parte el voltaje de toque de 1 varilla se puede apreciar en la Figura 10 y se observa que el voltaje de toque es elevado al alejarnos del electrodo. También podemos cuantificar la resistencia de puesta a tierra del electrodo que es de 48.161 Ω en los casos 1, 2 y 3, este valor es alto y no representa un buen valor para una correcta derivación de las corrientes a tierra. De los casos 1, 2 y 3 se puede indicar que un electrodo formado por una varilla es peligroso porque genera altos voltajes de toque y de paso, y estos voltajes crecen con la corriente de falla.

En la Tabla 2, los casos 4, 5 y 6 ponen a prueba el electrodo de 1 varilla de los casos 1, 2 y 3 pero sin una capa superficial de protección, y el efecto no se da en los voltajes de toque del electrodo sino en los voltajes de toque y de paso tolerables que disminuyen, si los valores tolerables disminuyen el efecto en la práctica es que el electrodo es más inseguro para un ser humano.

En la Tabla 3, se pone a prueba el electrodo de una varilla con un suelo más resistivo de $1\,000\ \Omega\cdot\text{m}$, que es un valor alto pero típico en lugares secos. Podemos observar que al compararlos con los casos 1, 2 y 3 han aumentado en 10 veces los voltajes de toque y de paso del electrodo, de la misma manera la resistencia del electrodo. Y, por otro lado, los casos 10, 11 y 12 ponen a prueba el electrodo con un suelo de $50\ \Omega\cdot\text{m}$, que es un buen suelo típico en zonas húmedas y con suelos con vegetación, en este caso los voltajes de toque y de paso del electrodo han bajado y también la resistencia del electrodo a $24\ \Omega$. De aquí se entiende que el suelo juega un papel importante a la hora de controlar los voltajes de toque, de paso y la resistencia del electrodo, por lo que en la construcción de un electrodo resulta beneficioso reducir la resistividad del suelo para reducir los voltajes del electrodo. Sin embargo, de todos los casos con una varilla, los voltajes del electrodo y las resistencias de puesta a tierra son altas, por lo que este tipo de electrodo no es recomendable. El mismo efecto puede tenerse con un electrodo activado, que por su forma es prácticamente un electrodo de una varilla, por lo que un electrodo activado debe usarse considerando otros medios para reducir los voltajes de toque y de paso y no tomar como único criterio la reducción de la resistencia del electrodo.

En la Tabla 4, se pone a prueba otro electrodo simple y común, que consiste en enterrar dos varillas unidas por un cable de cobre a una cierta distancia. En los casos 13, 14 y 15 se utiliza un conductor de calibre AWG 2 y en los casos 16, 17 y

18 un conductor AWG 2/0, con el objetivo de observar el efecto del tamaño del conductor. Para todos estos casos la separación entre varillas es de 3 m.

De la misma manera que un electrodo de una varilla, este tipo de electrodo produce voltajes de toque y de paso muy altos que superan los valores tolerables, es decir es un electrodo peligroso. En lo que respecta al calibre del conductor podemos apreciar que con un conductor más grande se reducen los voltajes de toque, pero aumentan los voltajes de paso. Sin embargo, el cambio es poco representativo, por ejemplo, entre el caso 13 y el caso 16 el voltaje de toque cambia de $19\,397.5\ \text{V}$ a $19\,144.6\ \text{V}$, que es un cambio del 1.3 %. Podemos observar que el mejor efecto que tiene este electrodo de dos varillas frente al de una es que reduce la resistencia del electrodo a $20\ \Omega$, pero sigue siendo un valor alto.

En la Tabla 5, se pone a prueba el electrodo de dos varillas, pero con distancias de separación mayores, de 5 y de 10 metros entre varillas y con los dos tipos de conductores AWG 2 y AWG 2/0. A medida que se aumenta la distancia de separación se reducen los voltajes de toque y de paso y también se reduce la resistencia de puesta a tierra. Esto quiere decir que el electrodo de dos varillas es mejor que el electrodo de una varilla si se colocan las varillas con separaciones grandes en el orden de 10 m, lo que en la práctica puede resultar factible en ciertos casos. Este efecto se observa en las Figuras 4 y 5, en la Figura 4 la forma del voltaje del electrodo es cónica porque la separación entre varillas no es muy grande, pero en la Figura 5 se puede apreciar como el voltaje se alarga en forma de una línea siguiendo el perfil del electrodo, y eso hace que en esa zona el voltaje de paso y de toque baje.

Como se puede intuir del caso de dos varillas, aumentar el número de varillas puede mejorar el desempeño del electrodo. Por lo que en la Tabla 6 se observa el efecto de poner a prueba un

electrodo de 3 varillas. En el caso 23 se tienen 3 varillas en línea recta con una separación de 5 m. En los casos 24, 25 y 26 se tienen tres varillas formando un triángulo, porque el electrodo triangular es bastante común en sistemas de puesta a tierra, residenciales e industriales y en especial en pararrayos.

En el caso 23 tenemos voltajes de toque y de paso menores que con dos varillas, de la misma manera una resistencia del orden de 10.7Ω . El voltaje de toque es muy alto pero el voltaje de paso cumple con lo requerido. Considerando que la separación es de 5 m, se podría mejorar aumentando la distancia entre varillas como en los casos antes descritos.

Por su parte, el caso 24 y 25 son triángulos equiláteros de 5 metros de lado, en el caso 25 sin embargo no se pusieron varillas, sino sólo un conductor enterrado. El efecto de no tener varillas aumenta el voltaje de toque y de paso por lo que no es conveniente evitar las varillas en este tipo de electrodo del caso 25. Por su parte el triángulo con varillas tiene mejores resultados que un electrodo de 3 varillas en línea recta, pero aún el voltaje de toque es muy alto, el diseño podría mejorarse al hacer el triángulo más grande. El caso 26 prueba el triángulo con varillas espaciadas a 5 m pero con un conductor más grueso y es interesante observar que los voltajes de toque, de paso y la resistencia del electrodo aumentan.

La Figura 5 presenta la forma del voltaje del electrodo triangular, se puede observar como el voltaje se eleva con la forma del electrodo, esto permite entender también que para reducir los voltajes de paso y de toque conviene tener formas geométricas en lugar de líneas o puntos que sería tener una o dos varillas. Y hacer más grande el área de ese electrodo. Por lo que de este análisis es evidente que los electrodos normalmente deben tener varias varillas, áreas grandes y eso se logra con los electrodos en forma de malla.

Una vez que se ha observado como funciona un electrodo de puesta a tierra podemos aseverar que los electrodos de una o dos varillas enterradas en el suelo que se utilizan muchas veces por desconocimiento en las instalaciones residenciales no son buenos electrodos de puesta a tierra, pues generan altos voltajes de toque y de paso que pueden llegar a ser peligrosos para la vida de las personas que transitan por el lugar en donde están enterradas estas varillas; este electrodo también es poco efectivo a la hora de derivar la corriente a tierra porque tiene resistencias altas.

Con los resultados obtenidos es posible entender y realizar recomendaciones de tipo constructivo en este tipo de electrodos simples:

- Mejorar la resistividad del suelo, con métodos como el cambio de suelo, uso de cementos y geles conductivos para reducir tanto la resistencia de puesta a tierra como los voltajes de toque y de paso.
- Siempre colocar una capa superficial sobre el área del electrodo con el fin de elevar el voltaje de toque y de paso tolerable. Esto se puede hacer colocando capas de piedras, cemento, ripio lavado que tenga alta resistividad en el orden de los miles de $\Omega.m$.
- En la medida de lo posible en cada proyecto buscar la forma de construir electrodos con varias varillas para reducir los voltajes de toque y de paso. Pero analizando la distancia de separación, no basta con colocar varias varillas en paralelo sino colocarlas a una distancia grande entre ellas.
- La utilización de electrodos activados es muy útil porque estos reducen enormemente la resistencia de puesta a tierra. Sin embargo, no se los debería utilizar solos ya que equivalen a un electrodo de una varilla, y sus voltajes de toque y de paso son muy elevados. Una

utilización prudente de este tipo de electrodos puede hacerse colocándolos como una varilla en un electrodo más complejo, por ejemplo, en el centro de una malla triangular, o cuadrada. De esa manera el electrodo activado reduciría la resistencia del electrodo y la geometría del electrodo ayudaría a controlar los voltajes del electrodo.

- Utilizar programas de cálculo computacionales de tipo gráfico, donde además de obtener los valores resultantes del electrodo se puede observar como desarrolla sus voltajes. De manera que el diseño del electrodo se haga considerando el criterio de seguridad para las personas que habitarán cerca de ese electrodo. No asumir diseños o ejecutar construcciones de esos electrodos sin un estudio previo desarrollado por un profesional.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Este artículo desarrolló un análisis de los voltajes de toque y de paso de electrodos de puesta a tierra simples compuestos por una, dos y tres varillas. Se presentan los argumentos en la sección 4 para aseverar que un electrodo formado por una varilla no es efectivo como una puesta a tierra y además es peligroso porque desarrolla voltajes de paso y de toque muy altos incluso con corrientes bajas de falla. De esta manera se debe evitar usar una varilla de metal enterrada como una puesta a tierra y se debe evitar su aplicación en instalaciones de tipo residenciales donde las personas están cerca de los electrodos y podrían sufrir un choque eléctrico cuando exista una descarga en el electrodo.

Utilizar dos varillas tampoco ayuda mucho y sigue siendo un electrodo poco eficiente y peligroso.

Al incrementar las varillas y la geometría del electrodo se puede obtener un electrodo efectivo y más seguro. En la medida de lo posible se debe

buscar construir electrodos de tipo malla, y se debe hacer el diseño y el estudio de voltajes del electrodo que se desea construir en cada caso. No construir el electrodo con un diseño tipo o en base a experiencia, porque cada suelo, cada caso particular tendrá resultados diferentes. Este tipo de diseños puede costar más, pero garantizará la seguridad de las instalaciones y la vida de las personas que es un factor invaluable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Abdelkader, B., Boubakeur, Z., Tahar, S., & Yahia, S. (2020). Implementation and Design of Grounding Systems Using COMSOL multiphysics. *020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP)*, 513-517. <https://doi.org/10.1109/CCSSP49278.2020.9151798>

Brenna, M., Foadelli, F., Longo, M., & Zaninelli, D. (2018). Particular grounding systems analysis using FEM models. *2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2018.8378860>

Cabezas, K., Jiménez, P., Ramirez, J. D., & Canelos, R. (2020). Simulación del campo electromagnético en una línea de transmisión de extra alto voltaje mediante el método de los elementos finitos. *MASKAY*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.24133/maskay.v11i1.1724>

Ghoneim, S., Hirsch, H., Elmorshedy, A., & Amer, R. (2006). Effect of profile location on step and touch voltages of grounding grids. *2006 Eleventh International Middle East Power Systems Conference*, 1, 228-233.

Ghoneim, S. S. M., & Taha, I. B. M. (2016). Control the cost, touch and step voltages of the grounding grids design. *IET Science, Measurement Technology*, 10(8), 943-951. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2016.0153>

Hatziargyriou, N. D., & Lorentzou, M. (1997). Grounding systems design using EMTP. *Proc. 23rd European EMTP Users Group Meeting*, 9-11.

Huang, D., Xia, J., Ruan, J., Wu, Y., & Quan, W.

- (2019). Characteristics of the Flexible Graphite Grounding Material and its Engineering Application. *IEEE Access*, 7, 59780-59787. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913558>
- IEEE. (2007). *IEEE 142-2007—IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. <https://standards.ieee.org/standard/142-2007.html>
- IEEE. (2013). *IEEE 80-2013—IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. <https://standards.ieee.org/standard/80-2013.html>
- Kasim, I., Abduh, S., & Fitryah, N. (2017). The effect of mesh size, number of rod, length of rod towards touch voltage, step voltage, and ground resistance in grounding system. *2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 356-361. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS.2017.8225870>
- Kumar, A., & Bharadwaj, P. D. (2015). *EFFECT OF GRID PARAMETER VARIATION ON THE PERFORMANCE OF GROUNDING SYSTEM*. 3(11), 7.
- MEER. (2020). *PTO - OAC8_1 (ACOMETIDA)*. http://www.unidadespropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=371&Itemid=308
- MIDUVI,. (2013). CAPÍTULO 15 INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS. En *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN*.
- MIDUVI,. (2018). INSTALACIONES ELÉCTRICAS. En *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN*.
- Ramirez, J. D., Cabezas, K., Jiménez, P., Canelos, R., & Escobar, B. (2020). Cálculo de la Distribución de Voltajes en las Cadenas de Aisladores de una Línea de Transmisión de 500 kV utilizando el Método de los Elementos Finitos. *Enfoque UTE*, 11(3), 1-14. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n3.619>
- Rock, M., Müller, K.-P., Shulzhenko, E., & Schünge, R. (2018). Mesh width of ground grids in shelters with small base areas for low step voltages at lightning currents. *2018 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICLP.2018.8503353>
- Tang, K., Ruan, J., Huang, D., Zhan, Q., Xiao, W., & Li, H. (2016). Application study of flexible graphite grounding electrode in typical tower grounding grid. *2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICHVE.2016.7800591>
- Tleis, N. (2007). *Power systems modelling and fault analysis: Theory and practice*. Elsevier.
- Unde, M. G., & Kushare, B. E. (2012). Cost effective design of grounding grid using ground rods—A case study. *2012 IEEE Fifth Power India Conference*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/PowerI.2012.6479520>

Analysis of hygienic risks in a welding workshop at an institution of higher education in Industrial Mechanics career

Análisis de riesgos higiénicos en taller de soldadura en institución de educación superior en carrera de Mecánica Industrial

Lenin Daniel Valdivieso Simba

Universidad Internacional de la Rioja

E-mail: ldvaldiviesos@gmail.com

RESUMEN

Este artículo, presenta un análisis de los riesgos higiénicos que se dan en los procesos de soldadura en la Carrera de Mecánica Industrial en el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, con el objetivo de tener conocimientos de los riesgos laborales a los que se encuentran expuestos docentes y estudiantes en el taller de soldadura. Para el desarrollo de la investigación se consideró la metodología propuesta por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), la misma que permitió un diagnóstico mediante visitas y aplicación de encuestas que determinaron debilidades en torno a la gestión de seguridad y salud en el taller de soldadura, se aplicó la matriz de diagnóstico presentada en la Norma ISO 45001 obteniéndose un resultado positivo de 66,75% y detectando un deficiente cumplimiento de los aspectos como: servicio de higiene y seguridad en el trabajo. Para determinar el riesgo higiénico referente al ruido se consideró lo establecido en Real Decreto 486/1997 del 14 de abril y la norma UNE-EN 12464-1. Para la exposición al ruido se utilizó el real Decreto 286/2006 y la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido y las recomendaciones del INSST. Los resultados obtenidos con respecto a la iluminación no se cumple con lo mínimo establecido y el ruido se encuentran por encima de la norma establecidas.

La institución está poniendo mayor énfasis con lo que se refiere a Prevención y riesgos laborales en

cada una de sus carreras, además de impartir cursos de riesgos laborales con el objetivo de concientizar no solo en los educandos sino también a personas externas a la institución.

Palabras clave. Higiene – seguridad – taller – decreto – Riesgos – Laborales

ABSTRACT

This article presents an analysis of the hygienic risks that occur in welding processes in the Industrial Mechanics Career at the Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, with the aim of having knowledge of the occupational risks to which teachers and students are exposed in the welding shop. For the development of the research, the methodology proposed by the National Institute for Occupational Safety and Hygiene (INSHT) was considered, which allowed a diagnosis through visits and application of surveys that determined weaknesses around health and safety management. In the welding workshop, the diagnostic matrix presented in the ISO 45001 standard was applied, obtaining a positive result of 66.75% and detecting poor compliance with aspects such as: hygiene and safety service at work. To determine the hygienic risk related to noise, the provisions of Royal Decree 486/1997 of April 14 and the UNE-EN 12464-1 standard were considered. Royal Decree 286/2006 and the Technical Guide for the evaluation and prevention of risks related to the exposure of workers to noise and the INSST recommendations were used for exposure to noise. The results

obtained with respect to lighting are not met with the minimum established and the noise is above the established norm.

The institution is placing greater emphasis with regard to Prevention and occupational hazards in each of their careers, in addition to giving courses on occupational hazards with the aim of raising awareness not only in students but also to people outside the institution.

Keywords. Hygiene - safety - workshop - decree - Labor - Risks

1. Introducción

La realización de esta investigación fue determinar los riesgos higiénicos a los que se encuentran expuestos docentes y estudiantes en el taller de soldadura de la Carrera de Mecánica en el Industrial en el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico ya que a simple vista se constató la gran cantidad de gases y vapores que se acumulan en el taller de soldadura provocando la poca visibilidad y oxigenación para quienes laboran en las instalaciones, además de la falta de iluminación y exceso de ruido afectando la comunicación en el taller, provocando posibles riesgos que pueden generar algunas enfermedades profesionales u ocasionar incidentes o accidentes en el área de trabajo. El desconocimiento de las normas y reglamentos nacionales e internacionales en torno a la seguridad y salud, pueden generar un deterioro en la salud de los trabajadores y en consecuencia afectar su calidad de vida (Monsalve, 2006).

Uno de los problemas que arroja la investigación es que el Consejo de Educación Superior siendo el ente regulador no cuenta con documentación que relacione los riesgos laborales a los que pueden estar expuestos docentes y estudiantes en las instituciones que imparten carreras técnicas (Consejo de Educación Superior (CES), 2012).

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) en sus estudios de la industria del metal indica que la siniestralidad es

del 30% por lo que se requiere revisar la situación de seguridad dentro del taller de soldadura con la finalidad de disminuir o eliminar los riesgos a través de la metodología a aplicar (INSHT 2015)

La investigación persigue plantear una estructura de riesgos específicos, así como establecer los peligros y medidas preventivas y correctivas, para lo cual se aplicará metodologías de análisis de riesgos para evaluar las incidencias en la salud de docentes y estudiantes, el marco que permita la implementación de un sistema de Higiene Industrial basado en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional ISO 45001, generando políticas de seguridad y salud que permita el compromiso de autoridades. Se espera que la utilización de medidas correctivas mejorará las condiciones de higiene de docentes y estudiantes.

2. Materiales y métodos

La investigación que se utilizó fue cuantitativa ya que se recopilaron datos que permitieron mediante el uso de herramientas matemáticas determinar los problemas que acontecían en las áreas de estudio permitiendo y dar soluciones a los problemas establecidos.

El método aplicado fue referido en la evaluación general de riesgos establecidos por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) mismo que permitió identificar los riesgos higiénicos por exposición a agentes químicos, biológicos o físicos.

Es importante distinguir cinco apartados o datos operativos que resumen la base informativa de la evaluación como son: posibles riesgos higiénicos, valoración, conclusiones, datos operativos, recomendaciones. Como lo muestra la

Figura 1 (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2010)

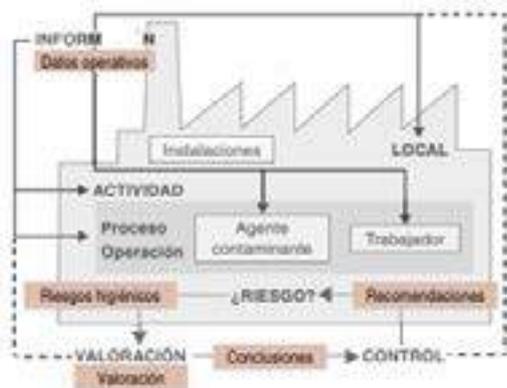


Figura 1: Esquema de los puntos esenciales del informe higiénico.

Fuente: Recuperado de la NTP 863. El informe higiénico. Pautas de elaboración, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), (2010).

La metodología para el desarrollo de la evaluación higiénica debía concordar con el principio de la prevención de riesgos higiénicos como se puede ver en la figura 1.

Para evaluar la exposición de docentes y estudiantes a los riesgos profesionales (contaminantes atmosféricos, agentes físicos y agentes biológicos) fue necesario llevar a cabo la evaluación higiénica en línea con el principio de la prevención de riesgos, como se puede observar en la figura 2.

Es importante indicar que para la evaluación general de los riesgos se lo desarrollo en tres etapas:

- Datos de proceso/operación
- Posibles focos de contaminación.
- Determinación de tiempos de exposición.



Figura 1: Metodología para realizar una evaluación higiénica.

Fuente: Tomado de Higiene Industrial. Tomo VII, de Universidad Internacional de La Rioja (Fernández, 2016, pág. 22).

Para identificar las áreas y los puestos de evaluación de las actividades que se desarrollan en el instituto se las obtuvo mediante visitas técnicas, eso permitió recolectar información pertinente de los factores de riesgos higiénicos a los que se encuentran expuestos, como se puede observar en la figura 3.



Figura 3: Ambientes de la Carrera de Mecánica Industrial

Fuente: Recuperado de la página web del Instituto Superior Central Tecnológico Central Técnico, (2018)

Se aplicó una encuesta higiénica que permitió obtener información directa de los riesgos así como de las herramientas y materiales con los que trabajan docentes y estudiantes.

Se aplicó una encuesta de riesgos propuesta por la Norma ISO 45001, es un estándar usado para calificar sistemas de SSO a nivel mundial, la misma permite cuantificar los riesgos específicos existentes en el área.

Para la exposición al ruido se consideró la Norma NTP 720 en la que se establece que un estudio previo debe incluir la identificación de todos los puestos de trabajo susceptibles de ser evaluados, exceptuando aquellos cuyo nivel diario equivalente y nivel de pico sean manifiestamente inferiores a 80 dBA y/o 140 dB respectivamente. Para determinar el ruido se utilizó una aplicación llamada Sound Meter.

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log\left(\frac{T}{8}\right) \quad (1)$$

Siendo

T el tiempo de exposición al ruido en horas/día

Adicionalmente se consideró el Anexo II del Real Decreto 286/2006, en la que se establece las mediciones que se deben realizar, que en lo posible se lo debe hacer en ausencia del trabajador afectado, el micrófono se coloca a la altura del oído y si es necesario la presencia del afectado el micrófono se colocara frente al oído a unos 10 cm de distancia.

Para la medición del ruido se dividió el taller en sub áreas como lo determina el Instituto de Seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT)



Figura 4: Lay Out del taller de soldadura

Fuente: Autor (2019)

Para la valoración del riesgo por nivel de iluminación se determinó las jornadas laborales para medir la influencia de la luz natural y la luz artificial en el nivel de iluminación.

La uniformidad de la iluminación debe ser uniforme con la finalidad de dar un confort visual y laboral. Se utilizó la Norma Europea UNE- EN 12464-1 iluminación de Interiores. La metodología para el cálculo de iluminación de interiores fue la siguiente.

Para el diagnóstico situacional de iluminación se utilizó un instrumento denominado luxómetro. Además de observar los problemas de iluminación e higiene en los ambientes.

Recolección de datos de niveles de iluminación mediante la medición sistemática en jornadas normales de trabajo.

La medición de iluminación en el plano de trabajo a 80 centímetros del piso, no proyectar sombra sobre el instrumento de medición Se determinó 3 lecturas para obtener el promedio de la lectura representativa. En cada uno de los turnos de trabajo en las distintas áreas. Cada lectura fue tomada en 5 segundos de estabilización.

Para las áreas con iluminación artificial, se realizaron las siguientes recomendaciones antes de realizar las mediciones.

En instalaciones nuevas con lámparas de descarga o fluorescentes, se debe esperar un periodo de 100 horas de operación antes de realizar la medición y los sistemas de ventilación deben operar normalmente, debido a que la iluminación de las lámparas de descarga y fluorescentes presentan fluctuaciones por los cambios de temperatura. (Servicio de Prevención y Salud Laboral, 2006).

Para la medición se utilizó un luxómetro 3 1/1 digital LCD. Y el método de medición utilizado fue una técnica en la que se divide el interior del área en varias sub áreas de iguales dimensiones, se mide la iluminación a una altura de 0.8 metros del nivel del suelo y se determinó el valor medio de iluminancia.

$$\text{Índice de local} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de Montaje} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})} \quad (2)$$

Dónde:

Largo / ancho: son las dimensiones del recinto (m)

Altura de montaje: es la distancia vertical entre el centro de la fuente de luz y el plano de trabajo (m).

La relación mencionada se expresa:

$$\text{Número mínimo de puntos de medición} = (X + 2)^2 \quad (3)$$

Dónde:

X: es el valor del índice de local redondeado al entero superior, excepto para todos los valores de "Índice de local" iguales o mayores que 3, el valor de x es 4. A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición.

Obtenido el número mínimo de puntos de medición, se tomó los valores de cada área, y se obtuvo la iluminación media es decir un promedio de la medición. Esta medición se la dividió por la iluminación nominal que permitió analizar la uniformidad que existe en el área.

$$U = \frac{E_{media}}{E_{minima (Tablas)}} \quad (4)$$

Según la norma europea UNE-EN 12464-1 si los valores son mayores o iguales que 0.7 % nos indica que el área iluminada es uniforme si la uniformidad está por debajo del 0,65% son considerados como malos (Comisión de Normalización Europea, 2002).

3. Resultados y discusión

Los resultados de las encuestas tomadas fue a estudiantes y docentes fueron los siguientes:

El resultado de la encuesta higiénica que permitió obtener información directa de los riesgos existentes dentro del taller de soldadura así como de las herramientas y materiales con los que trabajan docentes y estudiantes se la puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados encuesta higiénica de las condiciones de seguridad.

N°	Pregunta	Máximo		Vespertino		Nocturno	
		SI	NO	SI	NO	SI	NO
10	¿Unidad se encuentra expuesta a los siguientes gases un máximo de 8 horas al día?						
10.1	Gases de soldadura	17%	83%	33%	67%	25%	75%
10.2	Gases de baterías	0%	100%	17%	83%	0%	100%
10.3	Aerosoles (Spray)	17%	83%	17%	83%	0%	100%
11	¿Se maneja sustancias manaja comúnmente?						
11.1	Combustibles (Gasolina, diesel)	17%	83%	0%	100%	25%	75%
11.2	Gases	33%	67%	50%	50%	25%	75%
11.3	Acidos	67%	33%	50%	50%	0%	100%
11.4	Líquidos refrigerantes	67%	33%	67%	33%	50%	50%
11.5	Spray de carburadores	0%	100%	0%	100%	0%	100%
11.6	Otros desechos	17%	83%	0%	100%	25%	75%
12	¿Unidad está expuesta a ruido excesivo durante su jornada de trabajo?	100%	0%	50%	50%	50%	50%
13	¿Unidad utiliza protección auditiva durante su jornada de trabajo?	83%	17%	83%	17%	50%	50%
14	¿Unidad está expuesto a vibraciones?	67%	33%	50%	50%	0%	100%
15	¿La iluminación es adecuada en su puesto de trabajo?	67%	33%	100%	0%	75%	25%
16	¿La temperatura es adecuada en su puesto de trabajo?	67%	33%	83%	17%	50%	50%
17	¿Qué tipo de equipo de protección personal (EPP) utiliza para ejecutar los trabajos de soldadura?						
17.1	Protección respiratoria	67%	33%	50%	50%	25%	75%
17.2	Casaca o pantalón facial equipado con filtros ópticos	67%	33%	67%	33%	100%	0%
17.3	manguitos y mandiles de cuero	100%	0%	83%	17%	100%	0%
17.4	botas	83%	17%	50%	50%	100%	0%
17.5	Gautes	100%	0%	100%	0%	100%	0%
17.6	Braga	0%	100%	17%	83%	50%	50%
18	¿Considera que el EPP es el adecuado?	83%	17%	50%	50%	100%	0%
19	¿Se encuentra unidad expuesta en su trabajo a contaminantes químicos ambientales, sólidos, líquidos o gaseosos?	33%	67%	50%	50%	50%	50%
20	¿Existe un sistema de extracción o aspiración en su sitio de trabajo?	100%	0%	50%	50%	100%	0%

Fuente: El Autor (2019)

Las preguntas fueron cerradas es decir de Si y No, referente a los gases expuestos indica que el 80% no se encuentran expuesto durante 8 horas al día. Las sustancias que maneja comúnmente demuestran que un 85% utilizan spray de carburadores y un 67 % líquidos refrigerantes. La pregunta referente a la exposición al ruido el 67% manifiesta que si se encuentra expuesto aunque el 72% manifiesta que utiliza protección auditiva. Referente a la iluminación el 81% manifiesta que la misma es la adecuada en su puesto de trabajo. Las demás preguntas nos permitieron determinar los riesgos a los que se encuentran expuestos.

Se aplicó una encuesta higiénica según la norma ISO 45001 con preguntas cerradas del tipo Si o No con el fin de medir el grado de cumplimiento en relación a la seguridad en el taller, os resultados se los puede observar en la tabla 2:

Tabla 2. Resultados de la encuesta higiénica aplicada a estudiantes que participan en el taller de soldadura sobre las condiciones de seguridad.

N°	Pregunta	Si	No	% Cumplimiento
1	Servicio De Higiene y Seguridad En El Trabajo	4	7	36,3 %
2	Servicio De Medicina Del Trabajo	1	2	33,3 %
3	Señalización	2	0	100 %
4	Herramientas	3	1	75 %
5	Maquinas	3	0	100 %
6	Espacios De Trabajo	4	0	100 %
7	Protección Contra Incendios	0	2	00 %
8	Almacenaje	2	1	66,6 %
9	Almacenaje De Sustancias Peligrosas	3	2	60 %
10	Equipos y Elementos De Protección Personal (E.P.P.)	3	0	100 %
11	Iluminación - Color	3	3	50 %
12	Condiciones Higrotérmicas	3	3	50 %
13	Capacitación	7	0	100 %
14	Contaminación Ambiental	1	1	50 %
15	Ruidos	0	2	0 %

Fuente: El Autor (2019)

Los resultados de la tabla 2 demuestran deficiencia en aspectos legales como: servicio de higiene y seguridad en el trabajo, servicio de medicina, ruido.

Se tomaron dos mediciones en diferentes días con e objetivo que las maquinarias se encuentren trabajando a un 90% o 100%, la tabla 3 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3. Resultados promedios de mediciones sonoras.

Area	Turno Matutino 08:00-12:00			Turno Vespertino 05:00-09:00			Turno Matutino 06:00-10:00			Límite permitido	Máx (Lpico)
	Límite promedio	Límite Lpico	Máx (Lpico)	Límite promedio	Límite Lpico	Máx (Lpico)	Límite promedio	Límite Lpico	Máx (Lpico)		
Area 1	68,0	70,0	74,0	58,0	59,0	60,0	78,0	81,0	82,0	83,0	87,0
Area 2	68,0	69,0	74,0	59,0	60,0	60,0	78,0	81,0	82,0	83,0	87,0
Area 3	68,0	70,0	77,0	50,0	60,0	60,0	80,0	86,0	87,0	79,0	86,0
Area 4	69,0	70,0	79,0	60,0	61,0	60,0	79,0	86,0	87,0	79,0	86,0
Area 5	69,0	70,0	79,0	61,0	62,0	60,0	80,0	83,0	84,0	79,0	87,0
Area 6	69,0	70,0	79,0	61,0	62,0	60,0	79,0	86,0	86,0	79,0	86,0
Valor Promedio	68,8	69,8	77,0	58,7	60,6	60,0	78,3	83,7	84,6	83,0	87,7

Fuente: El Autor (2019)

La tabla 3 muestra que el promedio general que el LAeq,d, promedio es de 69,6 y el Máx (Lpico) es de 83,7 mismo que se encuentra por debajo ya que para el taller el valor máximo permitido es de 87 decibeles.

Para las mediciones se realizaron según la metodología indicada (con el luxómetro debidamente calibrado); las mediciones se realizaron con la iluminaria del área de soldadura encendida; obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4. Resultados promedios obtenidos de las mediciones de iluminación en el taller de soldadura.

punto de muestreo	Actividad que se realiza en el punto de muestreo	Dimensiones (mts)	Índice de local	número mínimo de puntos	Horario de medición	E Promedio	E Máximo
1	Escritorio del profesor	Largo: 8,25 m Alto: 5,6 m Altura de montaje: 3 m	1,4-2	16	Matutino	4	4
					Vespertino	35,2	50,3
2	Cubículo de Soldadura	Largo: 8,25 m Alto: 12 m Altura de montaje: 3 m	1,6-2	16	Matutino	5	5
					Vespertino	53,13	55,2
3	Cubículo de Soldadura	Largo: 8,25 m Alto: 7,2 m Altura de montaje: 3 m	1,2-2	16	Matutino	0,53	0,53
					Vespertino	24,5	26,9
4	Mesa de soldadura	Largo: 8,25 m Alto: 7,2 m Altura de montaje: 3 m	1,7-2	16	Matutino	483	483
					Vespertino	369	375
5	Cubículo de Soldadura	Largo: 8,25 m Alto: 12 m Altura de montaje: 3 m	1,6-2	16	Matutino	112	133
					Vespertino	69	75
6	Cubículo de Soldadura	Largo: 8,25 m Alto: 7,2 m Altura de montaje: 3 m	1,7-2	16	Matutino	423	440
					Vespertino	89	75

Fuente: El autor (2019)

La tabla 5 muestra la comparación que se hizo entre el valor medido y los que establece la norma.

Tabla 5. Comparación de los resultados obtenidos de las mediciones de iluminación con la norma

Area	Horario de medición	Valor requerido legalmente según norma (Lux)	Valor Medido (Lux)	Cumple o se cumple	Valor de la uniformidad de iluminación
Taller de soldadura	Matutino		175	No Cumple	0,35
	Vespertino	500	154	No Cumple	0,30

Fuente: El autor (2019)

Lo que se puede observar en la tabla 5 que tanto en la sección matutina y vespertina que el taller de soldadura no cumple con lo mínimo en iluminación recomendada por la norma UNE-EN 12464-1 así como el valor de uniformidad. (Comisión de Normalización Europea, 2002).

Otras investigaciones realizadas dan cuenta que los riesgos laborales a los que se encuentran

expuestos docentes de educación superior se da con frecuencia no solo en Ecuador si no que en Latinoamérica como se observa en los siguientes artículos.

Por su parte (Seguridad e higiene laboral en la educación superior, 2016) en su artículo relacionado a los a la seguridad e higiene laboral realizado en la Universidad Estatal del Sur (UNESUM), manifiesta que los trabajadores se encuentran inseguros en sus áreas de trabajo debido a la deficiente comunicación entre los directivos y los empleados de la institución.

En su artículo (Monroy A, 2019) Factores de riesgo psicosocial en académicos de instituciones de educación superior en Latinoamérica establece que los factores de riesgos psicosocial a los que se enfrentan los docentes se deriva de factores vinculados a las políticas internacionales de educación superior, los mismos que están provocando factores psicológicos y biológicos en la salud. El autor ve la necesidad de implementar programas de prevención de salud y bienestar en el sector académico.

En su artículo (Espin J., 2020) Los factores de riesgo psicosocial en educación superior tecnológica determina la necesidad de contar con un plan de prevención que minimice los problemas fisiológicos y psicológicos que afectan el estado emocional

4. Conclusiones

Las conclusiones de la investigación realizada en el taller de soldadura de la carrera de Mecánica Industrial fueron los siguientes:

Los resultados de la encuesta higiénica de las condiciones de seguridad permitió determinar los riesgos a los que se encuentran expuestos los estudiantes, fue la primera encuesta que permitió establecer cuáles son los productos así como los materiales con los que trabajan dentro del taller, dando una visión de los objetos que se tienen en el mismo.

Esta encuesta permitió conocer que en su mayoría no tienen conocimiento de los gases de soldadura a los que están expuestos. También demuestra que las sustancias más utilizadas son aceites y líquidos refrigerantes.

La información preliminar que se tiene en un principio indica que si se encuentran expuestos a ruidos excesivos, altas temperaturas y vibraciones.

La encuesta de Riesgos Higiénicos demuestra que existe un deficiente cumplimiento de los aspectos legales como: servicio de higiene y seguridad en el trabajo, servicio de medicina, ruido, mismo que se corrobora con las visitas técnicas realizadas al instituto.

La encuesta de mediciones sonoras demuestra que el ruido que se genera dentro del taller se encuentra por debajo de los decibeles permitidos lo que permite descartar los resultados de la encuesta higiénica en el que los estudiantes indicaban que tienen ruido excesivo.

La evaluación de riesgos higiénicos indica que la exposición a la que se encuentran con mayor riesgo es a los gases de soldadura.

La evaluación de la iluminación muestra que no se cumplió con la mínima iluminación requerida en las dos la sección vespertina y nocturna, en la visita se constató que es insuficiente el ingreso de luz natural.

La falta de equipos especializados no permitió realizar la medición de humos y gases, así como vibración y estrés térmico para lo cual se recomienda realizar un proyecto de investigación que permita comparar con normas establecidas.

5. Recomendaciones

Se recomienda algunas actividades preventivas en los diferentes puestos de trabajo con el objetivo de asegurar una efectiva gestión de riesgos.

Se recomienda la implementación de un efectivo proceso de Gestión del riesgo con miras a reducir la probabilidad de riesgos que vayan afectar la integridad de estudiantes y profesores.

Para la iluminación se recomienda mantener un nivel mínimo de iluminación de 300 lux. Además de abrir las puertas principales permitiendo el ingreso de luz natural y que permita airear el ambiente.

Para disminuir el ruido se recomienda aislar la fuente del ruido y utilizar los EPP adecuadamente así como reducir el tiempo de exposición y dar un mantenimiento periódico de las máquinas.

Realizar la señalización de las zonas con un alto riesgo.

Para exposiciones a gases y humos se debe mejorar las cabinas utilizando las pantallas de separación y cortinas de soldadura además de utilizar la pantalla facial con filtro adecuado a las condiciones y tipo de soldadura.

Proteger la piel con guantes y ropas apropiadas utilizando las normas nacionales e internacionales

6. Referencias bibliográficas

- Alvarez D, Z. D., & Alvarez D., Zea D. Alavarez S. (2016). Seguridad e higiene laboral en la educación superior. *SINAPSIS*, 16.
- Andrade, F. (2013). *Plan Estratégico De Desarrollo Institucional 2013 - 2017*. Quito.
- Bayona, T. Á. (2008). *Aspectos Ergonómicos del ruido: Evaluación*. Madrid: Centro Nacional de Nuevas Tecnologías.
- Comisión de Normalización Europea. (2002). *Norma Europea sobre la Iluminación para Interiores (UNE 12464.1)*. Madrid.
- Comisión de Normalización Europea. (2002). *Norma europea sobre la iluminación para interiores UNE 12464.1*. Madrid.
- Consejo de Educación Superior (CES). (2012). *RPC-SO-21-No.3 35-2016*. Quito.
- Fernández, T. A. (2016). *Higiene Industrial. Tomo VII*. Quito: Universidad Internacional de La Rioja.
- Google Play. (03 de 01 de 2019). *play.google.com*. Obtenido de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gamebasic.decibel&hl=es_EC
- INDURA. (2003). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Chile: Centro Técnico Indura .
- Instituto Ecuatoriano De Electrificación (INECEL). (1973). *Codigo Electrico Ecuatoriano*. Quito.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (1989). *NTP 7: Soldadura. Prevención de Riesgos Higiénicos*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (1992). *NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativo*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (1998). *NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2001). *Evaluación de Riesgos Laborales*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2006). *REAL DECRETO 286/2006*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2006). *REAL DECRETO 286/2006. Guia Tecnica para la Evaluación y Prevención Exposición de los Trabajadores al Ruido*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2010). *Iluminación en el puesto de trabajo*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2010). *NTP 863. El informe higiénico. Pautas de elaboración*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2015). *Análisis de las condiciones de trabajo y siniestralidad con una perspectiva de edad*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2015). *Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2015-2020*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Instituto Tecnico Superior Central Tecnico. (20 de 11 de 2018). *ITSCT*. Obtenido de ITSCT: <http://itsct.edu.ec>
- Junta de Extremadura. (2010). *Guía De Prevención De Riesgos En Trabajos De Soldadura*. Madrid.
- Labiano, J. M. (2009). *El Soldador y los Humos de soldadura*. España: Helvetica Publicidad.
- Lincoln Electric Mexicana. (2017). *Catálogo General 2017*. Mexico. Obtenido de www.lincolnelectric.com
- LincolnElectric. (2018). *lincolnelectric*. Obtenido de www.lincolnelectric.com
- Martín, A. G. (2016). *Estudio de la Fiabilidad de Aplicaciones Móvil para Medir el Tiempo de Reverberación*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Monroy A, J. A. (2019). *Fatcores de riesgo Psicosocial laboral en académicos de instituciones de educación superior en latinoamérica: Una revisión sistemática*. Scielo, 2.
- Monsalve, A. (2006). *Manual Descriptivo Para El Conocimiento De Riesgos*. Bogota: Universidad de la Salle.
- Ramos, M. d. (2012). *Evaluación de Riesgos Lbaorales en un Taller Mecánico*. Madrid: Universidad de Almeria.
- Rojas, L. J. (2009). *El Soldador y los Humos de soldadura*. España: Helvetica Publicidad.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2009). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013*. Quito: ISBN: 978-9978-92-794-6.
- Servicio de Prevención y Salud Laboral. (2006). *Recomendaciones de normas de seguridad de soldadura*. Madrid.
- Servicio de Prevención y Salud Laboral. (2006). *Recomendaciones de Normas de Seguridad de Soldadura*. Madrid.

Automobiles Powered By Solar Energy: A Review

Automóviles Impulsados Por Energía Solar: Una Revisión

Andrés Moreno Constante¹ José Beltrán Ruiz² Dario Borja Soto³

¹ Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador

E-mail: asmorenoc@uce.edu.ec

² Comisión de investigación IST Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: jbeltran@istct.edu.ec

³ Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador

E-mail: dxborjas@uce.edu.ec

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo probar la importancia que tiene las energías renovables en el área automotriz para la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente. El campo automotriz se ha ido buscando opciones para evitar la contaminación ambiental y dar el mejor servicio, confort al usuario. Tras años se ha hablado de las energías renovables que son fuentes en cantidades ilimitadas por lo que no se agotan mientras se los va utilizando. En la actualidad ya es un hecho del uso de los vehículos eléctricos donde no se ha logrado dar un gran paso al electro movilidad, por el precio, la autonomía y la vida útil de las baterías con los que funcionan dichos vehículos. Hoy en día se habla de la energía solar para recargar las baterías de los vehículos eléctricos, mismos que reciben alimentación mediante células fotovoltaicas que convierten la energía solar en eléctrica, la misma que se encarga de dar la alimentación al motor eléctrico o baterías del coche eléctrico.

Palabras clave— Energía solar, conjunto eléctrico, conjunto fotovoltaico, paneles fotovoltaicos, celdas solares.

ABSTRACT

The research aims to prove the importance of renewable energy in the automotive area for reducing polluting emissions to the environment. The automotive field has been looking for options to avoid environmental pollution and give the best service, comfort to the user. After years there has been talk of renewable energies that are sources in unlimited quantities so they do not run out while they are being used. At present, it is already a fact of the use of electric vehicles where it has not been possible to take a great step to electro mobility, due to the price, autonomy and useful life of the batteries with which these vehicles work. Today there is talk of solar energy to recharge the batteries of electric vehicles, which are powered by photovoltaic cells that make solar energy into electricity, the same that is responsible for supplying the electric motor or electric car batteries.

Key Words— Solar energy, electrical set, photovoltaic set, photovoltaic panels, solar cells.

1. INTRODUCCIÓN.

El factor salud y medio ambiente se ha convertido en un pilar importante de cuidado por lo que: “El daño en la salud de las personas son causados por numerosos problemas en los que destacan el perjuicio a la capa de ozono y el calentamiento global causado por la contaminación ambiental de los vehículos, por lo que nace la exigencia de utilizar automotores que contengan tecnologías limpias y que empleen energías renovables”(Moreno & Borja, 2020).

Los automotores con nuevas tecnologías, propulsados por energías alternativas que funcionan con paneles solares que son construidos por celdas fotovoltaicas. “Los vehículos mencionados tienen una eficiencia de un 98 % y el 2% que no se aprovecha y no es contaminante es así que generan menos gases contaminantes al medio ambiente a comparación de un automotor convencional como se menciona en la investigación de” (Valdez, 2018).

Siendo el sol la fuente principal y más grande de energía para nuestro planeta, es lógico que esta energía se aplique en la industria automotriz para reducir la contaminación ambiental, mediante la colocación de paneles solares que son construidos por celdas fotovoltaicas, de esta manera poder transformar la radiación solar en energía renovable.(Águila et al., 2015).

Según (Águila et al., 2015) menciona que el petróleo es una fuente no renovable por lo cual en un futuro se agotara y llegara a su fin por lo tanto el sector automotriz viene desarrollando automotores que funcionan con energías renovables como es el claro ejemplo de la utilización de paneles solares para brindar autonomía eléctrica y la funcionalidad de diferentes sistemas que conforma el vehículo con el fin de reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente.

Los vehículos propulsados con energía solar disponen de motor eléctrico y su energía se obtiene por paneles fotovoltaicos, por medio de

las celdas se transforma la energía del sol en electricidad y puede ser acumuladas en batería de alto voltaje.(Chandra Mouli et al., 2016).

La implementación de un sistema capaz de aprovechar la energía natural es algo bastante novedoso, donde se busca una transformación de corriente y a su vez podrá energizar un motor para un automóvil eléctrico como por ejemplo, o algunas otras fuentes capaz de mover partes de varios sistemas que conforman un automotor.(Levinson et al., 2015).

La corriente eléctrica continua se genera al través de la energía solar fotovoltaica y utiliza elementos semiconductores los cuales son alimentados por un haz de fotones. Cuando la luz llega a tener contacto con la célula solar se obtiene la potencia eléctrica y a su vez cuando la luz solar se detiene la electricidad se desvanece. (Armijos, 2017).

La energía solar puede ser convertida en electricidad por medio de celdas solares, por medio del efecto fotovoltaico o a su vez indirectamente con la conversión de la energía solar a calor o a energía química. Por una parte, el uso de celdas solares basa su funcionamiento en el efecto fotovoltaico que consiste que la luz que alcanza sobre los elementos semiconductores de dos capas produce una diferencia de la foto voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil en un vehículo eléctrico.(Charles, 2015).

Los automotores de influencia solar son en donde se utiliza la electricidad renovable que se obtiene por medio de paneles solares.

“Las celdas fotovoltaicas convierten la energía del sol directamente a electricidad, que puede o bien ser almacenada en baterías eléctricas o utilizada directamente por el motor”(Granda

Sánchez Yandry Vicente, 2014).

Teniendo en cuenta todos los parámetros explicados identificamos la necesidad de realizar un estudio de un medio de transporte que realice su función mediante la energía renovable, con la aplicación de la energía fotovoltaica.

En esta investigación se aplicó el método bibliográfico que se basa en la búsqueda de libros y de material similar dentro de artículos o revistas referentes a los vehículos eléctricos y las energías renovables la mayoría de la información recopilada fue extraída de diversos archivos, la recopilación de esta información fue organizada de manera en la que se pueda entender y así proceder a dar una explicación acorde lo que se está buscando.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA.

La investigación tiene como objetivo probar la importancia del uso proceso de investigación documental, la información que se obtuvo se utilizó como referencia para el análisis de las celdas fotovoltaicas que convierten la energía del sol directamente a electricidad para la movilidad del vehículo.

2.1. COMPONENTES PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

El principal dispositivo son los paneles solares que se encargaran de captar la energía solar que viene en forma de fotones. Es decir se tendrá una estación de paneles solares que captarán la energía solar y la transformaran en energía eléctrica. Los paneles solares poseen un valor de tensión de (6V, 12V y 24V).(Masuda et al., 2017).

2.2. REGULADOR DE CARGA

Es el encargado de regular la energía que entra y sale de la batería, tiene como función evitar que existan sobrecargas y lograr alargar la vida útil del acumulador , el regulador tiene dos objetivos los cuales son: garantiza la carga suficiente en el acumulador y evita situaciones de sobrecarga.



Figura 1: Conexión del regulador con el panel solar

Fuente:(Masuda et al., 2017)

2.3. INVERSOR

El inversor tiene como función convertir la corriente alterna en corriente continua y cargar a las baterías de los vehículos eléctricos y dar movilidad eléctrica al vehículo y entre las principales características es tener una regulación de tensión y frecuencia adecuada.(Kumar & Bharj, 2020).

2.4. BATERIA DE ALTA TENSIÓN

Ese debe analizar los conceptos, “La batería de alta tensión es un acumulador de energía la cual va ser cargada con una corriente continua que puede ir entre los rangos de 110 v a 220 v” (Kumar & Bharj, 2020), esto dependerá del número de celdas que tenga la batería y como principal función es dar autonomía eléctrica dependiendo de las condiciones de manejo o trabajo del vehículo.



Figura 2: Conexión del regulador con el panel solar
Fuente:(Masuda et al., 2017)



Figura 3: Celda de panel solar

Fuente: (Maruthi Prasad & Krishnamoorthy, 2019)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CELDAS SOLARES

(Novoa & Brouwer, 2018) afirma que el elemento encargado de convertir la energía solar en electricidad son las celdas solares, esto se logra gracias al efecto fotovoltaico o a su vez con la transformación de energía solar a calor. Las celdas solares basan su funcionamiento en el efecto fotovoltaico que consiste que la luz que alcanza sobre los elementos semiconductores de dos capas produce una diferencia de la foto voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil en un vehículo eléctrico.

Las láminas delgadas de material monocristalinas, policristalinas son utilizadas para la elaboración de celdas solares.

El procedimiento de fabricación de las láminas de monocristalinas se desarrolla con el corte de un gran lingote y una temperatura que llega aproximadamente a 1400 °C, el proceso tiene un costo muy elevado y a su vez el silicio que se utiliza debe tener una estructura cristalina y una pureza casi perfecta.(Maruthi Prasad & Krishnamoorthy, 2019).

Para el proceso de fabricación de las planchas poli cristalinas se utiliza la técnica de moldeo en donde el materia es vertido y se deja asentar. Las planchas al ser realizadas por modelo es mucho más económico la fabricación y tienen la misma eficiencia de las celdas monocristalinas. Su rendimiento puede reducirse a las imperfecciones de la estructura cristalina resultando del proceso de moldeo.(Maruthi Prasad & Krishnamoorthy, 2019).

En los dos procesos anteriormente mencionados, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el cortado. (Novoa & Brouwer, 2018) menciona que el proceso de fabricación del silicio amorfo es colocando el silicio sobre substrato de vidrio y utilizando un gas reactivo como silano (SiH₄).El cristal o el plástico son substratos de precios reducidos que pueden ser aplicados como película y que son de tipo de cédula solar y hay que tener en cuenta que el silicio amorfo es de tecnología de láminas delgadas. Existen un sin número de láminas delgadas de silicio multicristalino con diferentes materiales como por ejemplo: Celdas de arseniuro de galio, de telurio de cadmio/sulfuro de cadmio, seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio. Las principales ventajas de las celdas de lámina delgada con las siguientes: Una deposición y un ensamblado más sencillo,

pueden ser colocadas en sustratos o materiales de elaboración más económica y ser fabricado en masa.

(Ornetzeder & Rohrer, 2015) indica que la producción de celdas solares de silicio de tipo unión p-n se utiliza la siguiente metodología en donde se coloca átomos de impurezas para establecer una área tipo p y una área de tipo n de modo de establecer una unión p-n. El dopado de las planchas se realiza por medio de un horno en donde el dopante se lo utiliza en forma de vapor y a una alta temperatura, otro método de dopar el silicio es durante la deposición de las capas o laminas.

3.2 COMO TRABAJA LA ENERGÍA SOLAR

La corriente eléctrica se obtiene con la ayuda de las celdas solares fotovoltaicas que funcionan con el principio que la electricidad que recorre entre dos semiconductores y que al colocarlos uno contra otro y expuestos a la luz hacen el proceso de la energía y al conectar estas celdas entre si se apreciará que se obtiene una útil y abundante circulación de corriente eléctrica.

Un módulo Fotovoltaico es conformado por la unión de varias celdas fotovoltaicas de características similares. En la investigación de (Pan, 2017) hace referencia a las energías renovables; de la siguiente manera en donde el sol pega casi 10 horas diarias, entonces al tener más horas de luz la ganancia podrá aumentar de manera en que el panel solar este acaparando estas horas la luz directa” esto hace tener una idea de cómo moldeamos la información para ir dando a conocer toda la información que es tan diversa y que se la puede encontrar con enfoques diferentes.



Figura 4: Energía renovable

Fuente:(Pan, 2017)

3.3 GENERACIÓN ELÉCTRICA

Los módulos fotovoltaicos por su conformación y características producen y funcionan con corriente continua y no con corriente alterna. Por lo cual lo que se necesita aquí es una instalación, de un elemento capaz de convertir estas dos corrientes la una a la otra y viceversa. La utilización de esta corriente se verá afectada tras el número de horas que el vehículo se encuentre parado o andando ya que el panel solar se lo instala en el techo del vehículo. La corriente continua se puede denominar como el flujo libre constante y en una sola dirección de electrones, como ejemplo la corriente continua se utiliza y se encuentra en el acumulador o batería de los vehículos al contrario la corriente alterna es aquella en donde existe flujo de electrones en diferentes direcciones y como ejemplo se utiliza en la industria y artefactos de hogares como neveras, televisores, lavadoras, etc.

Por ende, la utilización en el campo automotriz queda de una manera segura y eficiente. Dentro del libro de (Alfons & Nina, 2020) que menciona lo siguiente este fenómeno resulta muy útil para muchos dispositivos como los relé o incluso para los timbres, esta energía se puede utilizar para mover grandes pesos con electroimanes.

3.4 COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA

(Qi et al., 2017) Un sistema solar completo está conformado por paneles solares y a su vez se utiliza un inversión el cual es el encargado de

convertir la corriente alterna en corriente continua para cargar el acumulador o batería del vehículo y a su vez es necesario un regulador de carga y por un último un conmutador que tiene como función accionar diferentes dispositivos de emergencia.

Tener una batería es muy necesario para acumular la energía, un regulador de carga que ayude a ser mucho más precisos en el proceso y un inversor que ayudará a tener corriente alterna y corriente continua dependiendo la necesidad. En la parte posterior del vehículo se puede utilizar para la implementación del sistema y colocar los elementos necesarios para captar y transformar la energía dependiendo de la necesidades. La acumulación de energía se utilizar baterías con varias celdas y que manejen un voltaje optimo y se debe colocar elementos que controlen que no existe una sobre carga en el sistema.(Qi et al., 2017).

3.5 EFECTO FOTOELÉCTRICO

Según menciona (Alfons & Nina, 2020) en su investigación que la radiación electromagnética u irradiación de luz produce la conformación de partículas eléctricamente cargadas. Se debe saber que el termino efecto fotoeléctrico designa varios tipos de interacciones similares. El efecto foto eléctrico tiene la propiedad de liberar electrones en un conductor de superficie metálica y a su vez absorber la energía de la sol que toma contacto con la superficie mencionada. Bajo la influencia de campo eléctrico se emplea el efecto foto eléctrico en la superficie de una cedula fotoeléctrica, en donde los electrones circulan de un polo ánodo a un polo cátodo. Esta reacción química que se produce al momento de almacenar la energía de ninguna manera influye a un sobre calentamiento de los componentes, según expone de manera cordial el autor (Qi et al., 2017)en su libro referente a las energías renovables.

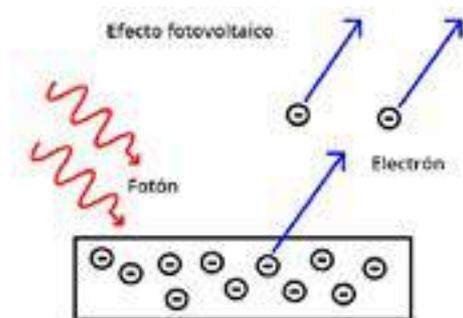


Figura 5: Efecto fotoeléctrico
Fuente: (Qi et al., 2017)

3.6 CADENA DE TRACCIÓN

Actualmente en el mercado los vehículos eléctricos están fabricados con una transmisión para vehículos de combustión interna, con la intención de cambiar el motor convencional por uno eléctrico. “Los motores térmicos tienen diferentes configuraciones de tracción a diferencia de los motores eléctricos que resultan ser mucho más flexibles , según explica el autor” (Rosato et al., 2020) en su libro hace referencia a la cadena de tracción de los vehículos eléctricos que pueden dividirse en tres subsistemas principales: suministro de energía, transmisión eléctrica, y transmisión mecánica.

Se presenta de manera gráfica de como sería la instalación de una cadena para brindar la tracción necesaria y un ejemplo de donde interviene dicha cadena para dar un empujes al motor o a los diversos sistemas, esto en conjunto de puntos más mecánicos en lo que se refiere a la instalación de elementos mecánicos y una variante que en este proyecto se lo dio por utilizarlo.(Ifaei et al., 2020).

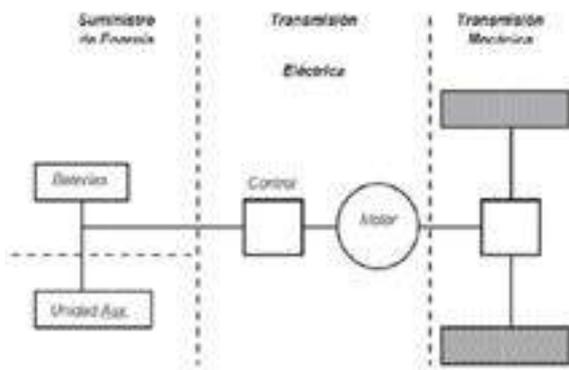


Figura 6: Cadena de tracción de vehículos eléctricos

Fuente: (Ifaei et al., 2020)

La configuración que se utilizó para la investigación fue la siguiente: no utilizar embrague y tampoco caja de cambios y se sustituyó por un controlador de potencia eléctrica y a su vez enlazado con el motor eléctrico a la entrada del diferencial (Ifaei et al., 2020).

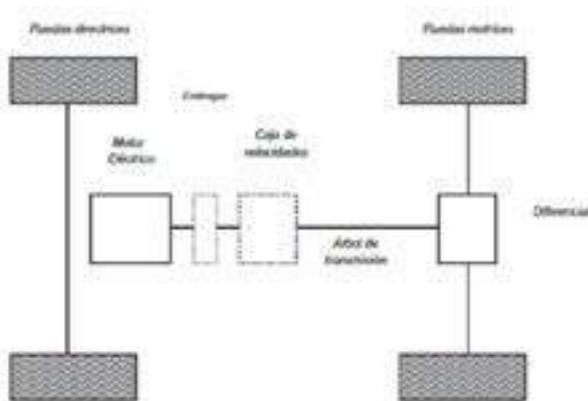


Figura 7: Cadena de tracción de un solo motor.

Fuente: (Ifaei et al., 2020)

Según (Rivas, 2008), “Establece una base teórica que permita realizar una serie de cálculos previos. Dependiendo del uso del vehículo eléctrico, se debe estimar algunas de sus características”.

3.7 DIMENSIONES DE LA CADENA DE TRACCIÓN

(Levinson et al., 2015) menciona que “los

requerimientos de la cadena de tracción, se seleccionarán los elementos que la componen: conjunto motor -convertidor de potencia, baterías, neumáticos, sistema de suspensión, sistema de frenos, sistema de dirección, entre otros. Se debe tener en cuenta a la hora de componer la cadena de tracción, que es interesante conseguir un reparto equilibrado de las masas”. Esta cadena es la que se encargara de dar el movimiento al transformador de corriente continua y alterna, la cadena se deberá reemplazar casa cierto momento ya que al estar en constante trabajo se debería estirar y es mejor estar intentando a prevenir los posibles problemas.

3.8 COMPONENTES MECÁNICOS

Son elementos o sistemas que utilizan energía mecánica para su movimiento o funcionamiento y tiene como función transformar la energía mecánica en otra clase de energía dependiente del requerimiento del momento. Lo que se busca es poder brindar una especie de sistemas mecánicos para poder dar un costo bajo en la producción y poder solventar de manera más rápida estos procesos.

(Laberteaux, 2019) Afirma: “en algunos de los casos no es necesario fabricar cada uno de los diferentes componentes mecánicos que conforman este proyecto, es preciso realizar un riguroso proceso de selección bajo criterios ingenieriles convenientes para cada cuestión en particular”. Y esto nos hace tener una idea de cómo iremos formando los sistemas mecánicos eligiendo cuidadosamente cual es la mejor combinación entre los mismos componentes.

3.9 SISTEMA DE DIRECCIÓN

El sistema de dirección es el encargado de verificar y controlar los movimientos del

automóvil dependiendo de las condiciones de manejo del conductor y a su vez trasladar el movimiento por medio de ejes hacia los neumáticos. Aquí es en donde ingresa la energía almacenada por las baterías recogidas del panel solar, al tener una dirección electromecánica la energía la podremos sacar de este almacenamiento y ser utilizada para el movimiento del volante. Este sistema puede ser aplicado dependiendo de la tracción que tenga el vehículo ya sea tracción delantera, posterior y tracción a las 4 ruedas.

4. CONCLUSIONES.

Los automotores con nuevas tecnologías tienen una notable forma de proteger el medio ambiente, propulsados por energías alternativas que funcionan con paneles solares que son contruidos por celdas fotovoltaicas. Los vehículos mencionados tienen una eficiencia de un 98 % es así que es nula la emisión de gases contaminantes al medio ambiente a comparación de un automotor convencional.

Siendo el sol la fuente principal y más grande de energía para nuestro planeta, es lógico que esta energía se aplique en la industria automotriz para reducir la contaminación ambiental, mediante la colocación de paneles solares que son contruidos por celdas fotovoltaicas, de esta manera poder transformar la radiación solar en energía renovable.

Teniendo en cuenta que el futuro cercano del petróleo y fuentes de energía no renovables llegaran a su extinción, la industria automotriz ha desarrollado sistemas que operan mediante energía renovable tal como el acoplamiento de paneles solares en la parte superior del vehículo, de esta manera algunos sistemas como el aire acondicionado se alimenta de energía emitida por el sol.

El elemento encargado de convertir la energía solar en electricidad son las celdas solares, esto se logra gracias al efecto fotovoltaico o a su vez con la transformación de energía solar a calor. Las celdas solares basan su funcionamiento en el efecto fotovoltaico que consiste que la luz que alcanza sobre los elementos semiconductores de dos capas produce una diferencia de la foto voltaje o del potencial entre las capas.

La corriente eléctrica se obtiene con la ayuda de las celdas solares fotovoltaicas que funcionan con el principio que la electricidad que recorre entre dos semiconductores y que al colocarlos uno contra otro y expuestos a la luz hacen el proceso de la energía y al conectar estas celdas entre si se apreciará que se obtiene una útil y abundante circulación de corriente eléctrica.

Un sistema solar completo está conformado por paneles solares y a su vez se utiliza un inversor el cual es el encargado de convertir la corriente alterna en corriente continua para cargar el acumulador o batería del vehículo y a su vez es necesario un regulador de carga y por un último un conmutador que tiene como función accionar diferentes dispositivos de emergencia.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Águila, E., Sohr, R., Parker, C., & Zanelli, J. (2015). Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático. In *Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO*.

Alfons, P., & Nina, H. (2020). *Can product bundling increase the joint adoption of electric vehicles, solar panels and battery storage? Explorative evidence from a choice-based conjoint study in Austria*. 167(June 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106381>

ARMIJOS, J. (2017). "Diseño Del Sistema De Potencia De Un Prototipo De Vehículo Mediante El Uso De energía Solar Para La Competencia De Vehículos World Solar Challenge.

- Chandra Mouli, G. R., Bauer, P., & Zeman, M. (2016). System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces. *Applied Energy*, 168(2016), 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.110>
- Charles, B. (2015). *Proyecto “ Vehículo Solar .”*
- Granda Sánchez Yandry Vicente. (2014). *Reingeniería aplicada de un vehículo tipo Go Kart de 384w con energía solar fotovoltaica para análisis de los parámetros eléctricos y mecánicos*. 104. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9583>
- Ifaei, P., Khiabani, H., Piran, J., & Yoo, C. (2020). Techno-econo-environmental feasibility of retrofitting urban transportation system with optimal solar panels for climate change mitigation e A case study. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119639. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119639>
- Kumar, S., & Bharj, R. S. (2020). Solar hybrid e-cargo rickshaw for urban transportation demand in India. *Transportation Research Procedia*, 48(2018), 1998–2005. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.228>
- Laberteaux, K. (2019). Optimizing the electric range of plug-in vehicles via fuel economy simulations of real-world driving in California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73(June), 15–33. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.05.013>
- Levinson, R., Pan, H., Ban-Weiss, G., Rosado, P., Paolini, R., & Akbari, H. (2015). Potential benefits of solar reflective car shells: Cooler cabins, fuel savings and emission reductions. *Applied Energy*, 88(12), 4343–4357. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.006>
- Maruthi Prasad, R., & Krishnamoorthy, A. (2019). Design validation and analysis of the drive range enhancement and battery bank deration in electric vehicle integrated with split power solar source. *Energy*, 172, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.116>
- Masuda, T., Araki, K., Okumura, K., Urabe, S., Kudo, Y., Kimura, K., Nakado, T., Sato, A., & Yamaguchi, M. (2017). Static concentrator photovoltaics for automotive applications. *Solar Energy*, 146, 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.028>
- Moreno, A., & Borja, D. (2020). *Implementación De Un Sistema Enchufable En El Vehículo Toyota Prius Híbrido De Tercera Generación*. <https://istct.edu.ec/Portal/Nuevo/Tecnologia-Superior-En-Impresion-Offset-Y-Acabados/>
- Novoa, L., & Brouwer, J. (2018). Dynamics of an integrated solar photovoltaic and battery storage nanogrid for electric vehicle charging. *Journal of Power Sources*, 399(March), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.07.092>
- Ornetzeder, M., & Rohracher, H. (2015). Of solar collectors , wind power , and car sharing : Comparing and understanding successful cases of grassroots innovations. *Global Environmental Change*, 23(5), 856–867. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.007>
- Pan, H. (2017). A portable renewable solar energy-powered cooling system based on wireless power transfer for a vehicle cabin. *Applied Energy*, 195, 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.069>
- Qi, L., Pan, H., Zhu, X., Zhang, X., Salman, W., Zhang, Z., & Li, L. (2017). *A portable solar-powered air-cooling system based on phase-change materials for a vehicle cabin*. 150(May), 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.067>
- Rosato, A., Ciervo, A., Ciampi, G., Scropio, M., Guarino, F., & Sibilio, S. (2020). Impact of solar field design and back-up technology on dynamic performance of a solar hybrid heating network integrated with a seasonal borehole thermal energy storage serving a small-scale residential district including plug-in electric vehicles. *Renewable Energy*, 154, 684–703. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.053>
- Valdez, C. (2018). *“ Diseño Y Fabricación De Un Automóvil De Energía Solar Para Personas Con Capacidades Diferentes El Huasteco ”*.

COMPARATIVE STUDY OF TENSILE BEHAVIOR IN TRACTION AND FLEXION OF STRUCTURAL STEEL ASTM A500

ESTUDIO COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTO TENSIL EN TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A500

Alex M. Tipán S.¹ Rodrigo A. Cárdenas Y.² Edwin A. Chamba M.³ Diego G. Cuasapud P.⁴

¹Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador
E-mail: atipan.mdm@uisek.edu.ec

²Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: racardenasy@istx.edu.ec

³Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) EP, Quito, Ecuador
E-mail: echamba.monar1989@gmail.com

⁴TECNOREV, Quito, Ecuador
E-mail: dcuasapud.mdm@uisek.edu.ec

RESUMEN

En el presente trabajo, se busca determinar la magnitud de las diferencias que pueden presentarse en los valores del factor de seguridad, y de los esfuerzos generados en condiciones de tracción y flexión, cuando se varían las propiedades mecánicas como la resistencia a la fluencia, en iguales consideraciones geométricas y de carga para cada caso. Las estimaciones, se consiguen efectuando un análisis comparativo de los esfuerzos generados por cargas de tracción y flexión en un elemento plano y una viga estructural de perfil cuadrado 50x50x3mm, basándose en las diferencias de las propiedades mecánicas del material constructivo, acero A500. Los análisis, se basan en la información de ensayo de laboratorio efectuado para un acero A500 y los normativos de ASTM A500C. Los resultados indican una convergencia en los valores de los estados generales de esfuerzo, conseguidos en forma analítica y con el método del elemento finito, MEF. El campo de estudio es el elástico lineal.

Palabras clave-- ASTMA500, Flexión, Tracción, MEF, Esfuerzos

ABSTRACT

In the present work, we seek to determine the magnitude of the differences that may occur in the values of the safety factor, and of the stresses generated in tensile and flexural conditions, when mechanical properties such as yield strength are varied, in equal geometric and load considerations for each case. The estimates are obtained by carrying out a comparative analysis of the stresses generated by tensile and bending loads in a flat element and a structural beam with a 50x50x3mm square profile, based on the differences in the mechanical properties of the construction material, A500 steel. The study is based on information from a laboratory test performed for an A500 steel and the ASTM A500C standards. The results indicate a convergence in the values of the general stress states, achieved analytically and with the finite element method, FEM. The field of study is linear elastic.

Index terms-- ASTMA500, Bending, Tensile, MEF, Stress

1. INTRODUCCIÓN

Se conoce que el método del elemento finito MEF aporta ventajas significativas en las fases de diseño y prueba de productos (Cook, Malkus, Plesha, & Witt, 2002), (Bathe, 2016), (López G. , 2013), en el presente trabajo se plantea comparar resultados de estados de esfuerzos, determinados analíticamente y con apoyo del método del elemento finito (MEF), en un elementos plano y en una viga estructural de perfil cuadrado 50x50x3mm, a partir de las propiedades mecánicas normalizadas y de resultado de ensayo físico del material constructivo de los mismos, tal que se consiga predecir su comportamiento elástico.

Se han efectuado proyectos de investigación sobre análisis estructurales de la carrocería de buses urbanos, provinciales, escolares y turísticos, con la finalidad de verificar su comportamiento en las ubicaciones críticas detectadas, donde se observa que gran parte de los elementos de la superestructura está compuesta por tubo estructural de perfil cuadrado ASTM A500 (López S. , 2016), (Esmeraldas, 2016), (Hernández, 2016), razón por lo que ha sido tomado como objeto de análisis de este estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el análisis virtual, se sigue el procedimiento general utilizado en los estudios apoyados con el MEF, como son el preprocesamiento, procesamiento, resultados, análisis de resultados, particularizado a los ensayos de tracción y flexión; los análisis básicos cuantitativos, se basan en la teoría clásica general de comportamiento de los materiales.

En el ensayo físico, se utiliza la norma ASTM e INEN, en los ensayos virtuales, se hace uso de la herramienta Simulation SolidWorks® 2014. El modelo para el ensayo de tracción se efectúa a

partir de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009), en “probeta plana para ensayo de tracción”.

2.1 Material

Con el objeto de la comparación, se utilizaron las propiedades mecánicas obtenidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela Politécnica de Chimborazo (Tabla 1) para el acero A500, mediante ensayo de tracción, tal como se reporta en (Tipán, 2020), se le llamará A500Lab. Para la contrastación de los ensayos, las propiedades mecánicas del material a utilizar, son las proporcionadas por la norma ASTM A500 (Subcommittee A01.09 on Carbon Steel Tubular Products, 2015), de donde se escoge el A500 grado C, por mayor resistencia a la fluencia (S_Y) y resistencia última (S_u), (Tabla 2).

Tabla 1
Ensayo de tracción laboratorio

Norma: ASTM E8/E89-09			
Material: Tubo estructural 50x50x3			
Tipo de material: Acero estructural ASTM A500			
	CMax	CYield	CRot
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Media	407,127	371,176	273,162
Desv. Std.	17,826	29,582	16,219
Coef. V.	0,044	0,056	0,060
+3 Sigma	460,601	433,824	322,035

Fuente: modificado de (Tipán, 2020)

Tabla 2
Propiedades mecánicas de tracción ASTM A500

	Grado	Grado	Grado	Grado
	A	B	C	D
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
S_u	310	400	425	400
S_Y	270	315	345	250
Elongación	25 %	23 %	21 %	23 %

Fuente: modificado de (Subcommittee A01.09 on Carbon Steel Tubular Products, 2015)

Las propiedades generales de los ensayos efectuados con el A500Lab y el ASTM A500C, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Propiedades generales de ensayos

Nombre	A500Lab	ASTM A500C
Tipo modelo	Isotrópico elástico lineal	
Criterio de error	Tensión max. von Mises	
Límite elástico MPa	371.176	345
Límite tracción MPa	407.127	425
Módulo elástico MPa	200000	
Coeficiente Poisson	0.3	
Densidad kg/m ³	7861	

Los modelos se efectuaron para los análisis con el MEF y analíticos; en caso de la tracción (Figura 1), según la norma INEN y en la flexión (Figura 2), según el perfil 50x50x3 mm, con longitud de 600 mm, usado en la construcción del piso de la carrocería para autobús, como indican en (Hernández, 2016), (Cháfuel, 2017).

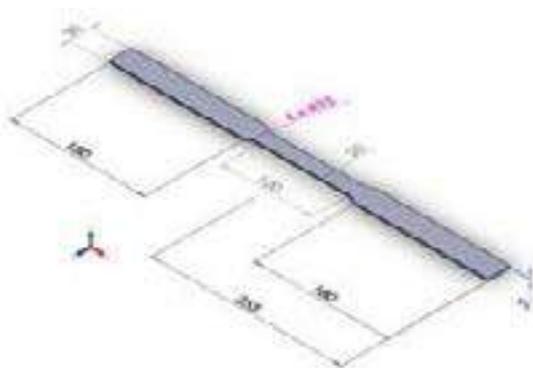


Figura 1: Modelo ensayo a tracción

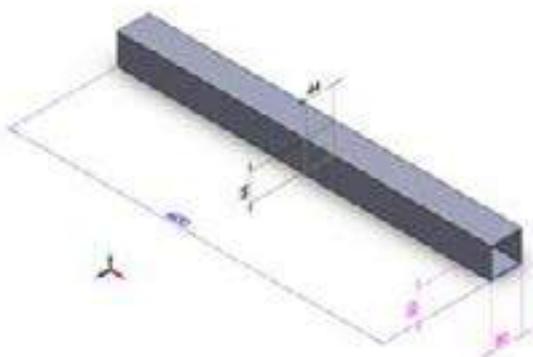


Figura 2: Modelo ensayo a flexión

2.2 Ensayos

Análisis de tracción y flexión.

2.2.1 Ensayo de tracción

Se ejecuta en las mismas condiciones para el A500Lab y A500C.

Propiedades de estudios

Tipo de análisis: Análisis estático

Tipo de malla: Malla sólida

Tipo de solver: FFEPlus

Condiciones de borde

Restricciones de desplazamiento en la frontera y cargas en la superficie, en este caso se tiene restricción de inamovilidad total en una de las caras perpendiculares al eje longitudinal y carga de tracción de 16000 N en la otra.

La carga de tracción a utilizar en los ensayos se estima con la resistencia a la fluencia menor entre el A500Laboratorio y el ASTM A500C, tomándose un valor de 16000 N, lo cual aleja de la fluencia a la probeta en un 22,70 %, ya que la fuerza necesaria para producir un esfuerzo $S_y=345$ MPa, en un área transversal de 20×3 mm², es de 20700 N

Mallado

Tipo de malla: Malla sólida

Mallador utilizado: Malla estándar

Puntos jacobianos: 4 Puntos

Tamaño de elementos: 3.52388 mm

Tolerancia: 0.176194 mm

Calidad de malla: Elementos cuadráticos de alto orden

Número total de nodos: 15509

Número total de elementos: 7392

2.2.2 Ensayo de flexión

Análisis efectuado para los dos materiales A500Lab, ASTM-A500C. Equivalentemente al caso de tracción, se efectúa un ensayo de flexión para cada material, y se incluye un mallado de tipo viga para ambos casos, lo cual permite

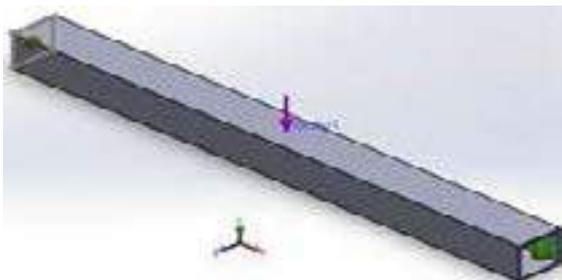
obtener directamente los diagramas de fuerza cortante, momento flector, esfuerzos, flecha.

Propiedades de estudios

Nombres de estudio: 1) A500Lab, 2) ASTM A500C
 Tipo de análisis: Análisis estático
 Tipo de malla: Malla tipo viga y sólida
 Tipo de solver: FFEPlus

Condiciones de borde

Restricciones en la cara perpendicular al eje longitudinal, arista inferior inamovilidad de traslación, en la otra cara posibilidad de traslación longitudinal, igual en los casos de tratamiento como viga. En el caso del tratamiento como viga, se aplica la carga de 1226N, puntualmente en el centro de la cara superior (Figura 3.2). En el modelo tipo tubo estructural 50x50x3 mm, la carga se aplica perpendicularmente a lo largo de una línea de partición (intersección de la cara con el plano frontal) en la mitad de la misma (Figura 3.1), su módulo es de 1226N, valor tomado de (Tipán, 2020).



3.1



3.2

Figura 3: Cargas y restricciones

Mallado

Viga

Tipo de malla: Malla de viga
 Número total de nodos: 65
 Número total de elementos: 63

Tubo 50x50x3 mm

Tipo de malla: Malla sólida
 Mallador utilizado: Malla estándar
 Puntos jacobianos: 4 Puntos
 Tamaño de elementos: 9.52319 mm
 Tolerancia: 0.47616 mm
 Calidad de malla: Elementos cuadráticos de alto orden
 Número total de nodos: 15492
 Número total de elementos: 7759
 Cociente máximo de aspecto: 11.797

3. RESULTADOS

3.1 Tracción

Valores calculados

El esfuerzo normal en un miembro sometido a carga axial, se determina con (1), donde F : carga axial y A : área de la sección transversal

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad \text{El t}$$

Obteniéndose

$$\sigma_t = \frac{16000N}{20 \times 3mm^2}$$

$$\sigma_t = 266.67MPa$$

La intensidad de esfuerzo de von Mises, se calcula con (2)

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2}{2}} \quad \text{El t}$$

En un ensayo de tracción simple monoaxial, una representación del estado de esfuerzos principales, se indica en la Figura 4

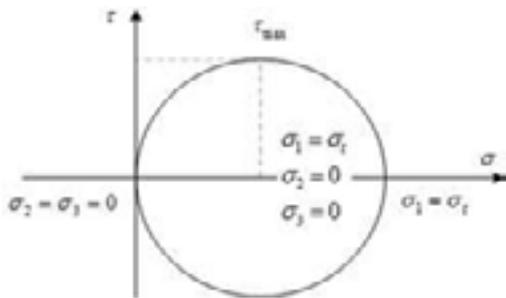


Figura 4: Tracción simple monoaxial

Como $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, y $\sigma_1 = \sigma_t$, sustituyendo en (2) se consigue que:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_t - 0)^2 + (\sigma_t - 0)^2 + (0 - 0)^2}{2}}$$

$$\sigma_{VM} = \sigma_t$$

$$\sigma_{VM} = 266.67 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad $FDS = \psi$, al considerar el límite de fluencia σ_y , como el valor permisible de diseño, se define como (3)

$$\psi = \frac{\sigma_y}{\sigma_{VM}}$$

El t

Para la tracción y los dos materiales utilizados, se tiene:

$$\psi_{A500Lab} = \frac{371.17 \text{ MPa}}{266.67 \text{ MPa}}$$

$$\psi_{A500Lab} = 1.392$$

$$\psi_{A500C} = \frac{345 \text{ MPa}}{266.7 \text{ MPa}}$$

$$\psi_{A500C} = 1.294$$

Valores MEF

Los resultados se reportan para una línea de partición creada en la cara superior del modelo, como intersección de la misma con un plano paralelo al lateral (Y-Z) trazado por el punto medio, (Figura 5).

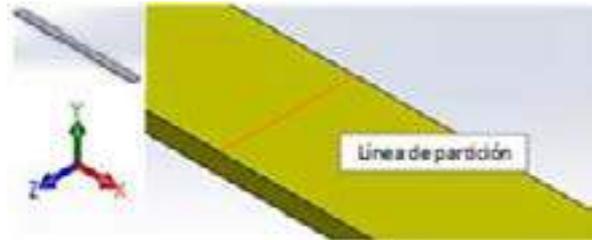


Figura 5: Zona de estudio

La ubicación de los nodos que pertenecen a la línea de partición creada, se muestra en la Figura 6 y detalladamente en la Tabla 4



Figura 6: Ubicación de nodos para esfuerzo axial Sx

Tabla 4

Ubicación de nodos en línea de partición - Tracción

Nodo	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
18	65.00	3.00	-25.00
16957	65.00	3.00	-23.33
19	65.00	3.00	-21.67
16953	65.00	3.00	-20.00
20	65.00	3.00	-18.33
16943	65.00	3.00	-16.67
21	65.00	3.00	-15.00
16932	65.00	3.00	-13.33
22	65.00	3.00	-11.67
16921	65.00	3.00	-10.00
23	65.00	3.00	-8.33
16910	65.00	3.00	-6.67
24	65.00	3.00	-5.00

En la tabla 5, se encuentran los valores de los esfuerzos principales y la intensidad del esfuerzo de von Mises, en la línea de partición

Tabla 5

Esfuerzos principales y von Mises

Nodo	P1 *	P2	P3	EVM **
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
18	267.000	0.186	0.008	266.900
16957	267.000	0.661	0.018	267.000
19	267.000	0.277	0.008	266.900

16953	266.900	0.030	-0.026	266.900
20	266.900	0.149	-0.018	266.900
16943	266.800	-0.009	-0.025	266.800
21	266.800	-0.064	-0.006	266.800
16932	266.800	-0.144	-0.014	266.800
22	266.800	0.217	-0.016	266.800
16921	266.800	0.323	-0.004	266.800
23	266.800	0.256	-0.011	266.800
16910	266.800	0.173	-0.005	266.800
24	266.800	0.151	0.004	266.800
Prom	266.862	0.170	-0.007	266.846

* P=Esfuerzo principal

** EVM=Intensidad de esfuerzo de von Mises σ_{VM}

En la Tabla 6, se identifican los esfuerzos normales y cortantes en cada ubicación de nodo

Tabla 6
Esfuerzos normales y cortantes

Nodo	Sx *	Sy	Sz	Txy **	Txz	Tyz
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
18	267.00	0.01	0.01	-0.13	-0.08	0.00
16957	267.00	0.03	0.05	-0.07	-0.09	0.01
19	267.00	0.01	0.03	-0.02	-0.08	0.00
16953	266.90	-0.02	-0.01	-0.01	-0.08	0.00
20	266.90	-0.01	0.00	-0.01	-0.07	0.00
16943	266.80	-0.01	-0.01	0.00	-0.04	0.00
21	266.80	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
16932	266.80	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	0.01
22	266.80	0.00	0.01	0.00	-0.03	0.01
16921	266.80	0.00	0.03	0.00	-0.03	-0.01
23	266.80	0.00	0.01	0.00	-0.02	-0.01
16910	266.80	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00
24	266.80	0.02	0.00	0.01	-0.01	0.00
Prom	266.86	0.00	0.01	-0.02	-0.05	0.00

* S=Esfuerzos normales σ

** T=Esfuerzos cortantes τ

Los resultados de esfuerzos son los mismos para los ensayos con A500Lab y A500C, excepto el factor de seguridad, como se indica en la Tabla 7

Tabla 7
Factor de seguridad

Nodo	A500Lab *FDS	A500C FDS
18	1.390	1.292
16957	1.390	1.292
19	1.390	1.292
16953	1.391	1.293
20	1.391	1.293
16943	1.391	1.293
21	1.391	1.293
16932	1.391	1.293

22	1.391	1.293
16921	1.391	1.293
23	1.391	1.293
16910	1.391	1.293
24	1.391	1.293
Prom	1.391	1.293

* FDS=Factor de seguridad ψ

3.2 Flexión

Estimación convencional

El cálculo de momento flector y la deflexión máxima, se efectúan según la Figura 7.

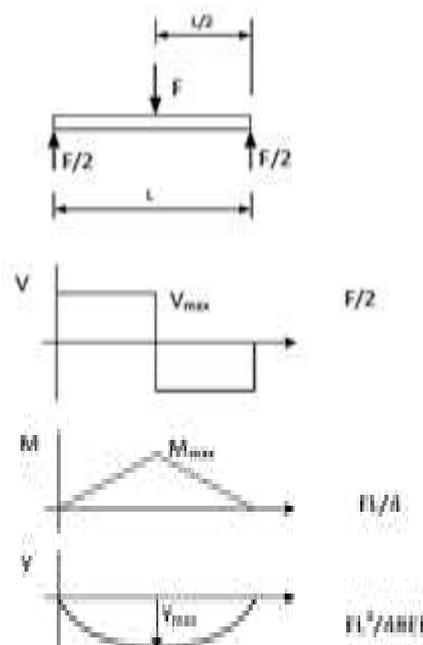


Figura 7: Fuerza cortante, momento flector y deflexión

Donde:

$$M_{max} = FL/4 = 183900 \text{ mmN}$$

$$Y_{max} = FL^3 / (48EI) = 0.1323 \text{ mm}$$

El esfuerzo de flexión, se estima según (4), es normal a la superficie transversal de la viga, cero en la superficie neutra que pasa por el centroide si los esfuerzos permanecen en el rango elástico y se trata de flexión pura, y máximo en la superficie (Figura 8).

$$\sigma_z = -\frac{My}{I} \quad \text{El } t$$

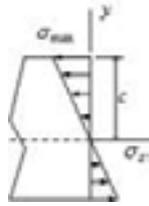


Figura 8: Esfuerzo de flexión

En el estudio, se tiene $M_{max}=183900\text{mmN}$, $c=25\text{mm}$, $I_{xx}=208492\text{mm}^4$, sustituyendo en (4), se obtiene $\sigma_{max}= 22.0512\text{ MPa}$

Resultados MEF

Modelo tipo viga

En las Figuras 9 y 10, se muestran los diagramas de fuerza cortante y momento flector, del ensayo a flexión, con carga central de 1226 N, en el modelo tipo viga, resultando $V_{max}=613\text{ N}$ y $M_{max}=183.9\text{mN}$

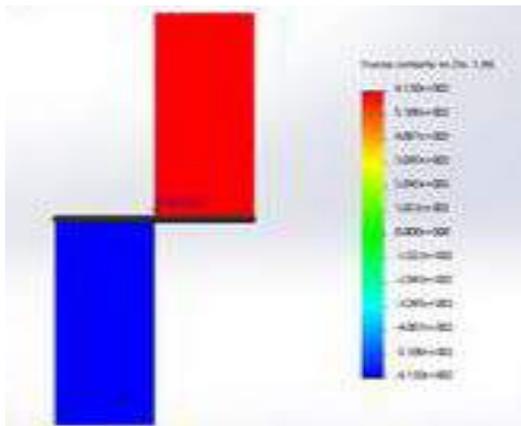


Figura 9: Fuerza cortante

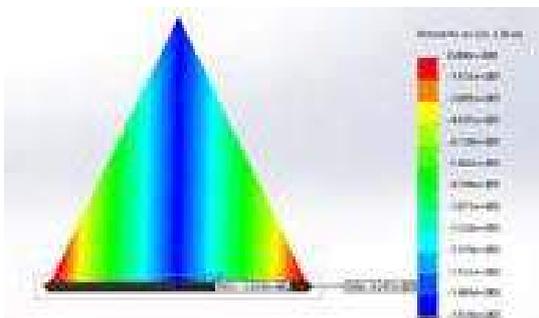


Figura 10: Momento flector

El esfuerzo máximo debido a la flexión y su distribución a lo largo de la viga se indican en la Figura 11, cuyo valor es $S_{max-f}=21.70\text{MPa}$, así como la máxima deflexión (flecha), en la Figura 12, $Y_{max}=0.1419\text{mm}$

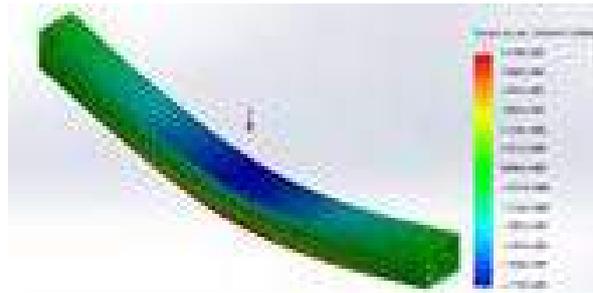


Figura 11: Esfuerzo de flexión en viga



Figura 12: Deflexión máxima

Los valores del factor de seguridad mínimo FDS, se consiguen en el punto de mayor momento flector, $\psi_{A500Lab}=17.1$ y $\psi_{A500C}=15.9$, como se indica en la Figura 13 para el A500Lab y el ASTM A500C



Figura 13: Coeficiente de seguridad A500Lab y A500C

Modelo tipo tubo estructural 50x50x3 mm

Para identificar adecuadamente los resultados, se construye una línea de partición en la mitad de cara inferior del tubo, donde ocurre la flexión máxima, identificando los valores de las variables de estudio en los nodos de esa línea, como se indica en la Figura 14 y la Tabla 8



Figura 14: Ubicación de nodos

Tabla 8
Ubicación de nodos

Nodo	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
33	-25	-25	0
15133	-20.833	-25	0
34	-16.667	-25	0
15128	-12.5	-25	0
35	-8.333	-25	0
15121	-4.167	-25	0
36	0	-25	0
15111	4.167	-25	0
37	8.333	-25	0
15100	12.5	-25	0
38	16.667	-25	0
15090	20.833	-25	0
39	25	-25	0

Los esfuerzos principales e intensidad de esfuerzos de von Mises, se indican en la Tabla 9

Tabla 9
Esfuerzos principales y von Mises

Nodo	P1 [MPa]	P2 [MPa]	P3 [MPa]	EVM [MPa]
33	21.500	-0.047	-3.571	23.510
15133	21.120	0.019	-3.118	22.840
34	20.180	0.440	-4.045	22.320
15128	19.360	-0.120	-3.687	21.490
35	19.020	-0.018	-3.412	20.940
15121	18.890	-0.020	-3.260	20.720
36	18.800	-0.044	-3.056	20.520
15111	18.840	-0.046	-3.292	20.700
37	18.980	-0.048	-3.430	20.930
15100	19.300	-0.178	-3.727	21.470
38	20.170	0.461	-4.047	22.310
15090	21.160	0.060	-3.089	22.840
39	21.480	-0.026	-3.624	23.510
Prom	19.908	0.033	-3.489	21.854

En la Tabla 10, se muestran los esfuerzos normales y cortantes en los planos X-Y, Y-Z, Z-X

Tabla 10
Esfuerzos normales y cortantes

Nodo	Sx [MPa]	Sy [MPa]	Sz [MPa]	Txy [MPa]	Txz [MPa]	Tyz [MPa]
33	-1.82	-1.80	21.50	1.76	0.03	-0.02
15133	-2.95	-0.15	21.12	0.71	0.02	0.02
34	-4.04	0.44	20.18	-0.14	0.02	0.02
15128	-3.69	-0.12	19.36	-0.01	0.00	0.02
35	-3.41	-0.02	19.02	-0.03	-0.01	0.00
15121	-3.26	-0.02	18.89	-0.07	-0.02	0.00
36	-3.06	-0.04	18.80	-0.01	-0.01	0.01
15111	-3.29	-0.05	18.84	0.06	-0.04	0.02
37	-3.43	-0.05	18.98	0.02	-0.04	0.01
15100	-3.73	-0.18	19.30	0.01	-0.02	-0.01
38	-4.04	0.46	20.17	0.13	0.03	-0.02
15090	-2.92	-0.11	21.16	-0.71	0.04	0.00
39	-1.83	-1.82	21.48	-1.80	0.04	0.03
Prom	-3.19	-0.27	19.91	0.00	0.00	0.01

Los resultados del factor de seguridad se listan en la Tabla 11

Tabla 11
Factor de seguridad

Nodo	A500Lab FDS	A500C FDS
33	15.79	14.68
15133	16.25	15.11
34	16.63	15.45
15128	17.27	16.05
35	17.72	16.47
15121	17.91	16.65
36	18.09	16.82
15111	17.93	16.66
37	17.73	16.48
15100	17.29	16.07
38	16.64	15.47
15090	16.25	15.11
39	15.79	14.67
Promedio	17.02	15.82

La deflexión en los nodos de la partición, se indica en la Tabla 12

Tabla 12
Deflexión Y (Uy)

Nodo	Y [mm]
33	-0.1430
15133	-0.1416
34	-0.1405
15128	-0.1396
35	-0.1390
15121	-0.1387
36	-0.1385
15111	-0.1387
37	-0.1390

15100	-0.1396
38	-0.1405
15090	-0.1416
39	-0.1430
Promedio	-0.1403

4. DISCUSIÓN

Las relaciones constitutivas son las expresiones que relacionan el estado de deformaciones con el de esfuerzos (Martínez, 1998), (Goncalves, 2002), en este estudio se consideran independientes del tiempo y se asume que el material es homogéneo, isótropo con comportamiento elástico lineal. Se consiguen seis ecuaciones de deformación, tres normales y tres tangenciales, las mismas son funciones de tres constantes elásticas E, G, u, módulo de elasticidad, módulo de corte, coeficiente de Poisson (Chandrupatla & Belegundu, 2002), respectivamente, (en realidad dos, puesto que $G=E/[2(1+u)]$), las cuales se invierten y producen las ecuaciones de esfuerzos en función de las deformaciones, utilizadas en la descripción del estado general de esfuerzos. Dado que el valor de E y u, es compartido por el A500Lab y el A500C, es de esperarse que para las mismas condiciones de carga y geometría, sean iguales los valores de esfuerzos y deformaciones para los ensayos efectuados, la diferencia entre ambos, atiende a los factores de seguridad calculados con el criterio de von Mises, por lo que a mayor S_y , será mayor FDS, lo cual significa que el material con FDS mayores, admite mayores cargas antes que comience a fluir plásticamente.

Tracción

En la tracción simple monoaxial, los esfuerzos principales son $\sigma_2=\sigma_3=0$ y $\sigma_1=\sigma_t=266.86\text{MPa}$, es decir $\sigma_x=\sigma_1=\sigma_t$, $\sigma_y=\sigma_z=0$, $\tau_{xy}=\tau_{xz}=\tau_{yz}=0$, la representación del estado de esfuerzos principales, en un plano $(\sigma-\tau)$, se indica en la figura 15, por lo que las diferencias tienden a cero entre los resultados analíticos y efectuados con el MEF, como se muestra en las Tablas 13 y 14

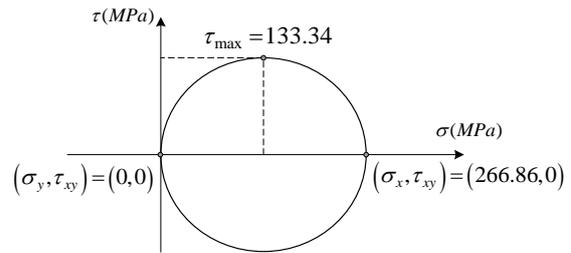


Figura 15: Esfuerzos en tracción

Tabla 13
Resistencia a la Fluencia y EVM

	S_y		EVM	
	A500Lab [MPa]	A500C [MPa]	A500Lab [MPa]	A500C [MPa]
Cálculo	371.176	345	266.667	266.667
MEF	371.176	345	266.846	266.846

Tabla 14
Error entre estimaciones de FDS

	FDS	
	A500Lab	A500C
Cálculo	1.392	1.294
MEF	1.391	1.293
Error %	0.067	0.067

Flexión

En la Figura 16, se muestran los esfuerzos principales en el nodo 36 (mitad de la cara inferior), en la Figura 17, se tienen los esfuerzos del estado general, que coinciden con los principales.

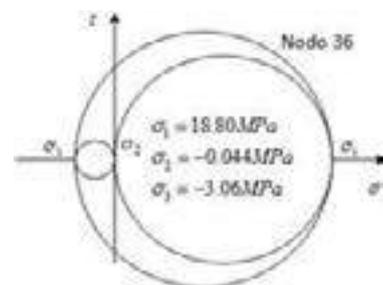


Figura 16: Esfuerzos principales nodo 36

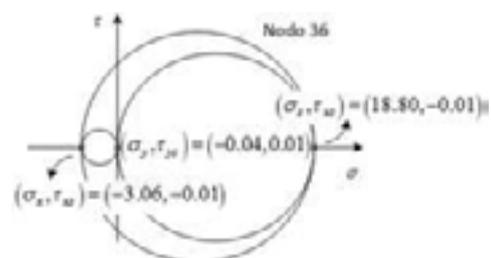


Figura 17: Estado general de esfuerzos nodo 36

A pesar de las diferencias entre los esfuerzos de punto a punto en la línea de partición (Figura 18), conocer el valor promedio de los mismos, como se observa en la Figura 19, permite una visión más general en el momento del diseño.

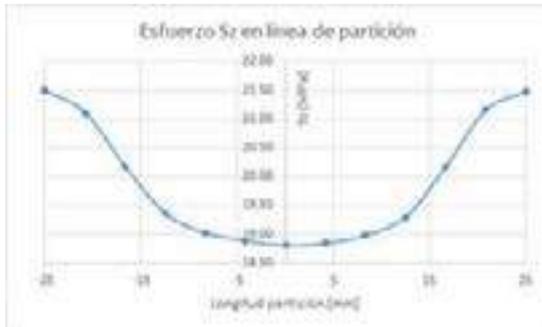


Figura 18: Esfuerzos longitudinales en línea de partición cara inferior de modelo

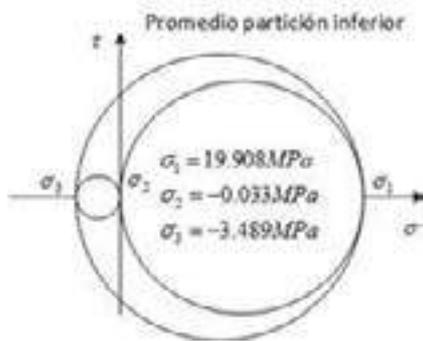


Figura 19: Esfuerzo principales promedio en línea de partición cara inferior de modelo

El error en la estimación del esfuerzo flexionante y la intensidad de esfuerzo de von Mises (Tabla 15), se debe a que en la estimación analítica se considera que en las fibras extremas sólo hay esfuerzos longitudinales por flexión, no existen esfuerzos laterales, ni de corte, (Beer, Johnston, Dewolf, & Mazurek, 2009), (Budynas, Nisbett, & Keith, 2008), mientras en los resultados por el MEF, se visualizan esfuerzos normales S_x , producto del ensanchamiento lateral que si es considerado cuando se estiman los desplazamientos totales del dominio

Tabla 15
Error entre estimaciones de esfuerzo flexionante y EVM

	Cálculo [MPa]	MEF [MPa]	err %
Sflex	22.05	19.91	9.7052
EVM	22.05	21.9	0.68

A partir de la ecuación generalizada de esfuerzos - deformación, $\sigma = D\varepsilon$, en el campo elástico, donde **D** representa la matriz de esfuerzo - deformación (5)

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu \end{bmatrix} \quad \text{El t}$$

Se calcula σ (6) tomando los valores de ε producidos por el MEF (Tabla 17), a lo largo de la línea de partición y se comparan los valores del esfuerzo de flexión reportados por el MEF.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad \text{El t}$$

La Tabla 16, muestra las deformaciones a lo largo de la línea de partición

Tabla 16
Deformaciones en línea de partición

Nodo	ε_x $\times 10^{-5}$	ε_y $\times 10^{-5}$	ε_z $\times 10^{-5}$	γ_{yz} $\times 10^{-5}$	γ_{xz} $\times 10^{-5}$	γ_{xy} $\times 10^{-5}$
33	-3.93	-3.83	11.25	0.27	-0.31	2.52
15133	-4.82	-2.71	10.97	0.17	0.01	0.82
34	-5.08	-2.27	10.61	0.05	0.14	-0.23
15128	-4.75	-2.38	10.26	-0.03	0.02	-0.05
35	-4.56	-2.35	10.03	-0.01	0.03	-0.05
15121	-4.46	-2.34	9.93	0.00	0.06	-0.03
36	-4.37	-2.36	9.85	0.02	0.07	-0.03
15111	-4.45	-2.36	9.91	0.04	0.04	0.02
37	-4.51	-2.35	9.99	0.02	0.07	0.00
15100	-4.71	-2.40	10.20	0.08	0.03	0.05
38	-5.05	-2.28	10.51	-0.02	-0.01	0.17
15090	-4.71	-2.79	10.93	0.06	-0.04	-0.86
39	-3.91	-3.83	11.29	-0.01	0.17	-2.47

Los esfuerzos calculados con (5) y (6), se indican en la Tabla 17

Tabla 17
Esfuerzos calculados en partición

Nodo	Sx [MPa]	Sy [MPa]	Sz [MPa]	Tyz [MPa]	Txz [MPa]	Txy [MPa]
33	-1.96	-1.81	21.47	0.21	-0.24	1.94
15133	-3.41	-0.17	20.93	0.13	0.01	0.63
34	-4.07	0.26	20.06	0.04	0.11	-0.18
15128	-3.65	0.00	19.50	-0.02	0.01	-0.04
35	-3.45	-0.05	18.95	-0.01	0.03	-0.04
15121	-3.25	0.01	18.89	0.00	0.04	-0.02
36	-3.12	-0.03	18.75	0.02	0.05	-0.02
15111	-3.27	-0.05	18.82	0.03	0.03	0.02
37	-3.33	0.00	18.98	0.02	0.05	0.00
15100	-3.68	-0.13	19.26	0.06	0.02	0.04
38	-4.11	0.15	19.81	-0.01	-0.01	0.13
15090	-3.32	-0.37	20.69	0.04	-0.03	-0.66
39	-1.91	-1.78	21.49	-0.01	0.13	-1.90
Prom	-3.27	-0.31	19.82	0.04	0.02	-0.01

Los esfuerzos en los planos, generados con el MEF, se encuentran en la Tabla 10. A partir de los resultados descritos, se determina el error de los promedios de esfuerzos en la partición, obteniéndose reportados con el MEF contra los calculados con la ecuación generalizada, como se indica en la Tabla 18

Tabla 18
Diferencia relativa de esfuerzos en línea de partición

Prom	Cálculados [MPa]	MEF [MPa]	err %
Sx	-3.272	-3.189	2.52
Sy	-0.306	-0.267	12.85
Sz	19.816	19.908	0.46
Tyz	0.038	-0.005	112.18
Txz	0.017	0.004	76.73
Txy	-0.008	0.006	171.49

A pesar de los valores de error entre los esfuerzos cortantes, relativamente altos, la magnitud de los mismos frente a los axiales no es significativa.

5. CONCLUSIONES

El cálculo exacto de los esfuerzos a que está sometido un sólido, es factible en contados casos, razón que la distribución de esfuerzos en un sólido sea una aproximación, debido al

conjunto de hipótesis simplificativas utilizadas con el fin de lograr una formulación matemática relativamente simple.

Los valores de las propiedades mecánicas de un material, no son valores exactos, presentan siempre una desviación, que tiene diversas fuentes de origen, como la homogeneidad, las impurezas, la isotropía.

Las diferencias de los esfuerzos generados en los casos de análisis de tracción y flexión, entre los dos materiales considerados, A500Lab y ASTM A500C no son significativas, dada la igualdad en módulo elástico, coeficiente de Poisson y los modelos utilizados en las simulaciones.

En iguales condiciones de geometría y de borde, es menor el factor de seguridad para el material que tiene una resistencia a la fluencia mayor.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bathe, K. (2016). *Finite Element Procedures* (2nd edition: fourth printing ed.). Watertown, USA: Prentice Hall, Pearson Education, Inc.

Beer, F., Johnston, R., Dewolf, J., & Mazurek, D. (2009). *Mecánica de Materiales* (Quinta ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

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

Cháfuel, V. (2017). *Análisis estructural por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial basado en simulación virtual de impacto frontal y posterior para verificar materiales y geometrías de construcción*. Universidad de las Fuerzas Armadas. Latacunga: ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13434>

- Chandrupatla, T., & Belegundu, A. (2002). *Introduction to finite elements in engineering* (Third ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3135>
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis* (Fourth ed.). University of Wisconsin-Madison, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Esmeraldas, C. (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*. ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas. Latacunga: ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11776>
- Goncalves, R. (2002). *Introducción al análisis de esfuerzos* (Segunda ed.). (R. Goncalves, Ed.) Caracas, Venezuela: USB.
- Hernández, J. (2016). *Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de volteo para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros*. ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas. Latacunga: ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11774>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente*. First ed. Quito, Ecuador: INEN. Obtenido de <http://www.inen.gov.ec>
- López, G. (2013). *Estudio comparativo de los métodos de elementos finitos y fotoelástico en la determinación de esfuerzos para mejorar el diseño mecánico de piezas*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato: UTA. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24621/>
- López, S. (2016). *Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finitos*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato: UTA. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24621/>
- Martínez, A. (1998). *Criterios fundamentales para resolver problemas de resistencia de materiales* (Primera ed., Vol. I). Valle de Sartenejas, Venezuela: Equinoccio USB.
- Subcommittee A01.09 on Carbon Steel Tubular Products. (2015). *Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes*. West Conshohocken: ASTM International. Obtenido de www.astm.org
- Tipán, A. (2020). *Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos del comportamiento tenso-deformacional de aceros estructurales en tubos cuadrados de 50x50x3, en el sector carrocerero*. UISEK. Quito: Universidad Internacional SEK. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3714>

Detection and Classification of Moving Objects Inside Closed Spaces Using Artificial Computer Vision Algorithms

Detección y Clasificación de Objetos en Movimiento en Espacios Cerrados Utilizando Algoritmos de Visión Artificial

Stalin Marcelo Hidrobo Proaño¹

¹ Estudiante de doctorado Universidad Politécnica de Valencia

E-mail: stahid@doctor.upv.es

RESUMEN

El campo de visión asistida por computador se ha expandido a lo largo de los años, despertando un gran interés en su estudio y desarrollo investigativo en distintas disciplinas para conseguir el mayor rendimiento de las aplicaciones desarrolladas con estos métodos.

En este artículo se revisó de forma resumida los alcances de una investigación de mayor envergadura, presentada como Trabajo Final de Maestría llevada a cabo por el mismo autor en la Universitat Politècnica de València (2018) en la que se estudió algunas de las principales técnicas de videovigilancia por visión por computador y su comportamiento cuando el entorno cubierto vigilado está habitado permanentemente por una mascota. De tal modo, con la revisión de distintas alternativas, se diferencia entre una alerta generada por el movimiento de ésta y una generada por un elemento intruso, evitando que las alarmas se activen de forma no deseada.

En tal propósito, se usó dos recursos de video: 1) la librería de visión por computador OpenCV en un entorno de C# con el objetivo de poder repetir los experimentos en las mismas circunstancias para los distintos algoritmos a evaluar y, 2) distintos videos que registran animales y personas, simulando el entorno que se pretende vigilar.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un banco de pruebas que permita detectar y clasificar un objeto en movimiento dentro en un ambiente cerrado mediante el uso de algoritmos de procesamiento de imágenes y clasificación.

Al concluir los experimentos, los datos obtenidos fueron dispuestos en tablas que muestran los resultados al ejecutar diferentes secuencias de video en el banco de pruebas, utilizando todos los métodos de procesamiento y clasificación de imágenes desarrollados.

Palabras clave— visión por computador; OpenCV; procesamiento de imágenes; mascotas; detección de objetos.

ABSTRACT

The field of computer-assisted vision has expanded over the years, awakening great interest in its study and research development in different disciplines to achieve the highest performance of the applications developed with these methods.

This article summarizes the scope of a larger investigation, presented as a Master's Final Project carried out by the same author at the Universitat Politècnica de València (2018) in which some of the main techniques of computer vision video surveillance and its behavior when the guarded covered environment is permanently inhabited by a pet.

In this way, with the review of different alternatives, a difference is made between an alert generated by its movement and one generated by an intruder, preventing the alarms from being triggered unwantedly.

For this purpose, two video resources were used: 1) the OpenCV computer vision library in a C # environment in order to be able to repeat the experiments in the same circumstances for the different algorithms to be evaluated and, 2) different videos that register animals and people, simulating the environment to be monitored.

1. INTRODUCCIÓN.

El campo de la visión por computador es interdisciplinario y experimenta un acelerado crecimiento debido a sus múltiples áreas de posible aplicación, tanto existentes como en desarrollo.

En sistemas sofisticados de seguridad facilitan, por ejemplo, la detección, rastreo, clasificación e identificación de elementos en movimiento a través de algoritmos que, finalmente, discriminan los eventos cotidianos de los no deseados en un ambiente vigilado según categorías previamente definidas (González Jiménez, 2000).

Estos algoritmos pueden incorporarse en sistemas de seguridad para diferenciar a ocupantes cotidianos de un ambiente —personas o mascotas— de posibles intrusos, para reducir falsas alarmas y minimizar errores humanos en el sistema de vigilancia con personal (Wong & Ong, 2009).

En este documento se busca desarrollar un programa que puede ser usado como banco de pruebas que permita la reproducción de videos pregrabados, aplicar algoritmos de detección y clasificación de objetos en movimiento —personas o animales— y su consecuente discriminación en una secuencia de

The objective of this work was to develop a test bench that allows detecting and classifying a moving object inside a closed environment through the use of image processing and classification algorithms.

At the end of the experiments, the data obtained were arranged in tables that show the results when executing different video sequences on the test bench, using all the image processing and classification methods developed.

Index terms— computer vision; OpenCV; image processing; pets; object detection.

imágenes para, en un futuro, evitar generar alarmas no deseadas de intrusión.

1.1. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

Para desarrollar una aplicación que requiera de análisis por computador, se debe tomar en cuenta elementos como las fuentes de luz necesarias para iluminar los objetos y los algoritmos a usarse para clasificarlos. Una vez obtenida la imagen digital e introducida en la memoria del computador, se aplica distintas técnicas de procesamiento de imagen y transformación morfológica para segmentar y extraer características que llevan al reconocimiento de patrones. Estos sistemas de visión pueden ser parte de un sistema global al integrarse a otros dispositivos como: robots, autómatas programables, cintas transportadoras o actuadores (De la Escalera Hueso, 2001).

1.2. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

Iluminación: Coadyuva en la simplificación del análisis y posterior interpretación de la escena captada (Graham D, 2018).

Fuentes de luz: Estas pueden ser de tipo natural o artificial. Entre otras, tenemos: luces

incandescentes, diodos led, fluorescentes (Bader, Ma, & Oelmann, 2017), fibra óptica, laser, entre otros (De la Escalera Hueso, 2001).

Lente de la Cámara: Permite transmitir la luz hacia el sensor en forma controlada, obteniéndose como resultado una imagen enfocada en varios elementos (**Mushonnifah, Nurhadi, & Pramujati, 2018**).

1.3. ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

1.3.1. Segmentación

Se refiere a la partición de una imagen en un conjunto de regiones no solapadas y homogéneas respecto a algún criterio cuya unión cubra la imagen completa. Con ella se busca separar objetos de interés del resto no relevante, considerado como fondo (Rodríguez Morales & Sossa Azuela, 2011).

1.3.2. Operaciones morfológicas

Simplifican las imágenes y preservan las formas principales de los objetos. En visión artificial es frecuente utilizar la morfología para el tratamiento de regiones en el sentido de determinar cómo se pueden cambiar, contar o evaluar. Se puede utilizar para suavizar los bordes de una región, separar determinadas regiones que en el proceso de segmentación las presenta unidas, unir regiones que han sido separadas durante el proceso de segmentación y facilitar el cómputo de regiones en una imagen (Pajares Martinsanz & de la Cruz García, 2007). Asimismo, las operaciones morfológicas se clasifican en:

Secuencia de imágenes en movimiento: Se obtiene con un conjunto de imágenes de la misma escena, capturadas en diferentes instantes y se puede detectar los cambios que haya podido ocurrir en el período comprendido entre ambas capturas (Lavanya & Lohan, 2019).

Reconocimiento de patrones: Es una disciplina científica cuyo objetivo es la clasificación de objetos en cierto número de categorías o clases. Se refiere a esos objetos de forma genérica usando el término patrones. Los enfoques en el reconocimiento de patrones han sido el estadístico y el sintáctico (Pajares Martinsanz & de la Cruz García, 2007).

Blob Detection: “Es un método matemático que detecta regiones o puntos en una imagen digital. Las regiones o puntos se diferencian notablemente con su alrededor. Además, un blob es una región o punto en que algunas propiedades son invariables dentro de un rango de valores establecidos” (Xing & Choi, 2013). A su vez, “puede proporcionar información complementaria sobre las regiones y, por lo tanto, puede ser utilizada para obtener regiones de interés para su posterior procesamiento” (Kay & Bunyarit, 2016).

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Al tratarse de desarrollo de un software para realizar las pruebas de los algoritmos de visión por computador, el material a utilizarse se compone, básicamente, de un entorno de desarrollo y el método utilizado de programación.

2.1. DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

2.1.1. Microsoft Visual C#

Se trata de un lenguaje de programación orientado a objetos (OOP). Se basa en una tecnología de componentes para el desarrollo de software (Mayo, 2002). Es amigable con el usuario y permite crear interfaces gráficas (GUI) con herramientas fáciles de usar. Al ser un software muy difundido, existen varias fuentes de consulta que facilitan el desarrollo de programas (Microsoft, 2020).

2.1.2. Open CV

Es una librería de visión artificial de código abierto, escrita en C++ y funciona con plataformas como: Linux, Windows, y Mac OSX. Existe un desarrollo activo en interfaces para Python, Ruby, Matlab y otros lenguajes. (Kaehler & Bradski, 2008).

2.2. ARQUITECTURA PROPUESTA.

La interfaz de programación que utilizamos para el desarrollo del banco de pruebas es C#.

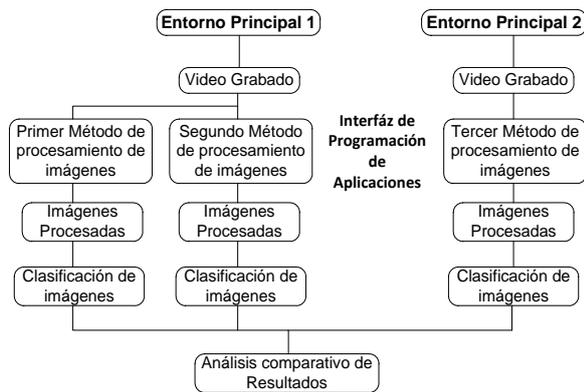


Figura 1: Entornos principales de prueba.

Fuente: Propia.

En la figura 1 se muestra dos entornos principales de prueba¹. En el primero se procesa los videos previamente grabados e importados hasta el programa. Se desarrolló tres métodos de detección y clasificación y en el segundo entorno se replica el proceso del primero para, finalmente, desarrollar el cuarto método de detección y clasificación.

Los videos utilizados e importados para el banco de trabajo tienen dimensiones demarcadas en píxeles. Así, 640 (ancho) x 360 (largo) a velocidad de 20 fps y formato mp4, grabados previamente utilizando una cámara fija en diferentes instantes, captando a una mascota y una persona por separado.

¹ Para acceder al software de los tres métodos propuestos, visite: <https://gitlab.com/-/ide/project/xxxxxx/artificial-computer-algorithms-in-c-sharp/tree/master/-/Main/>

2.3. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.

Se obtendrá diferentes imágenes segmentadas acorde a la necesidad de cada método de clasificación. Con el primer método se obtiene imágenes binarias en blanco y negro; con el segundo se obtiene imágenes de contornos y, con el tercero se obtiene imágenes binarias con un contorno con sombra blanca que muestra el movimiento del objeto.

Tras el procesado de las imágenes, se clasifica las características obtenidas. El objetivo principal de ésta es distinguir un objeto en movimiento y diferenciar entre una persona y una mascota.

2.4. PRIMER MÉTODO

Blob detect: Luego de obtener las imágenes grabadas y traerlas hacia el primer entorno principal, estas imágenes ahora son el punto de partida para continuar con el procesamiento.

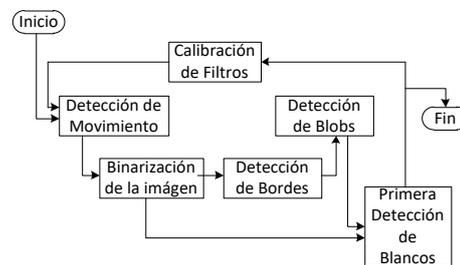


Figura 2: Proceso de tracking.

Fuente: Propia.

Para detectar movimiento, se aplica la resta de *frames* RMI (Recurrent Motion Image) en un intervalo determinado y se utiliza filtros de umbralización tal como se muestra en la figura 3a. La imagen resultante es binarizada utilizando el método truncado, con lo cual obtenemos una imagen de dos bits; nivel alto para blancos y nivel bajo para negros. De ese modo, obtenemos una imagen en blanco y negro que será de utilidad para procesos posteriores de clasificación, usando la cantidad de blanco que existe en la parte alta, media y baja de las imágenes como se observa en la figura 3b:

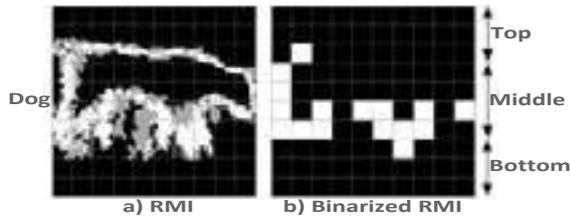


Figura 3: Imágenes RMI y Binarizada
Fuente: Wong & Ong, 2009

Con la imagen binarizada, se utiliza los bordes para definir los límites. Esto reduce significativamente la cantidad de datos y filtra la información inútil, conservando, a su vez, importantes propiedades estructurales de una imagen, previo al siguiente proceso (Detección de Blobs) (Huamán, 2018). Luego de utilizar las funciones de procesamiento de imágenes de suavizado, dilatación y erosión, la imagen se transmite a través de un proceso llamado detector de bordes de canny y, a continuación, la detección de blobs, controlada por los siguientes parámetros: umbral, agrupamiento, fusión, cálculo de centro y radio, circularidad, convexidad, relación de inercia (Kay & Bunyarit, 2016). Obtenidas las imágenes binarizadas y los parámetros de los blobs, se aplica un filtro de detección de blancos cuyo algoritmo permite detectar los primeros blancos que van apareciendo de derecha a izquierda y desde arriba hacia abajo, dibujando una línea blanca similar a la de la figura 4:



Figura 4: Detección de blanco

Fuente: Ruanpeng, Auephanwiriyaikul, & Theera, 2017

Con el blob se consigue obtener un coeficiente de relación entre el ancho y el alto del objeto. Por lo general, si se detecta a una persona, el recuadro resulta más alto que ancho; lo contrario ocurre con un animal, que resulta más ancho que alto (Ruanpeng, Auephanwiriyaikul, & Theera, 2017).

Con la primera detección de blancos se obtiene un valor de píxeles blancos que contendrá la parte alta, media y baja de cada imagen. Este método es útil cuando la relación de ancho y alto del coeficiente anterior sea de uno y no se pueda discriminar con el blob (Ruanpeng, Auephanwiriyaikul, & Theera, 2017). Una persona genera más píxeles blancos que una mascota en las tres regiones del cuadro. Se calcula un coeficiente que resulta de la cantidad de píxeles blancos detectados en la zona alta del cuadro, dividido para la sumatoria total de todos los píxeles del cuadro generado. Este es otro parámetro a tomar en cuenta para la clasificación, tal y como se muestra en la figura 5:

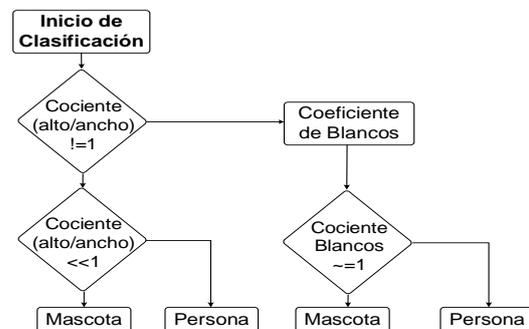


Figura 5: Diagrama de flujo primer método de clasificación

Fuente: Propia.

El diagrama de flujo resume el primer método de clasificación, donde el coeficiente es mucho mayor para una persona gateando que para un animal, al igual que se observa en la figura 6:



Figura 6. Mascota y persona gateando detección de primeros blancos

Fuente: Ruanpeng, Auephanwiriyaikul, & Theera, 2017

2.5. SEGUNDO MÉTODO

El segundo método, denominado *surf* —igual que el primero método— se compone de la parte de procesamiento. Se ejecuta los procedimientos para detectar el objeto. Consta principalmente de algoritmos de comparación de objetos con una imagen patrón y para su clasificación se utiliza un árbol de decisiones binarias (Dhivya, Sangeetha, & Sudhakar, 2020). Las imágenes obtenidas del video grabado previamente y traídas hacia el entorno son filtradas y segmentadas utilizando propiedades como el color. Las resultantes contienen regiones potenciales que se ponen a prueba. Se comparan con los parámetros de forma y color para determinar si existen o no coincidencias en las imágenes.

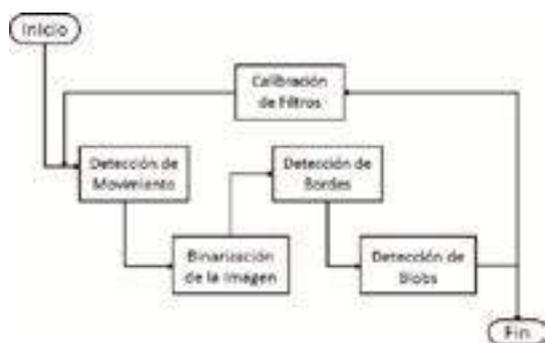


Figura 7. Proceso de detección y reconocimiento de coincidencias
Fuente: Propia.

Para la segmentación de color se utiliza una técnica de división simple, basada en modelo de color HSV de la librería OpenCV. Primero, se filtra la imagen a comparar mediante la técnica de suavizado o alisado gaussiano. La imagen alisada se convierte primero en el espacio de color HSV, luego se divide en una matriz de tono, saturación y valor, con imágenes grises llamadas canales. Tras utilizar las funciones de procesamiento de imágenes de suavizado, dilatación y erosión (igual que en el primer método de procesamiento), la imagen se transmite a través de un proceso de búsqueda de bordes de canny.

En el proceso de detección desarrollado, la forma de la imagen base es primero almacenada en la

memoria como un contorno y luego se compara con los contornos de la imagen del objeto en una función que encuentra coincidencias. En la clasificación se realiza una comparación simple de estas entre la imagen patrón y las imágenes candidatas encontradas, en las cuales se determina la cantidad de píxeles semejantes. Si estos exceden un umbral determinado por el usuario, se da como válida la detección, caso contrario, se descarta las imágenes. El siguiente diagrama de flujo ilustra la segunda clasificación:



Figura 8. Diagrama de flujo segundo método de clasificación
Fuente: Propia.

2.6. TERCER MÉTODO

El tercer método, *Blob Tracker*, se compone de la parte de procesamiento, al igual que los métodos anteriores. Este ejecuta los procedimientos a seguir para detectar el objeto. Consta, principalmente, de un algoritmo de *tracking* de objetos en movimiento (Akgul, 2010). Para la clasificación se usa un coeficiente de relación alto y ancho. Aunque en inicio este método de procesamiento es similar al primero al basarse en *tracking*, difieren en el principio de procesamiento; mientras en el primer método la mayoría de funciones principales han sido desarrolladas apoyándonos en OpenCV, en el tercero nos valemos, principalmente, de una librería de OpenCV. El proceso de *Tracking Blob* es resumido en la figura 9:

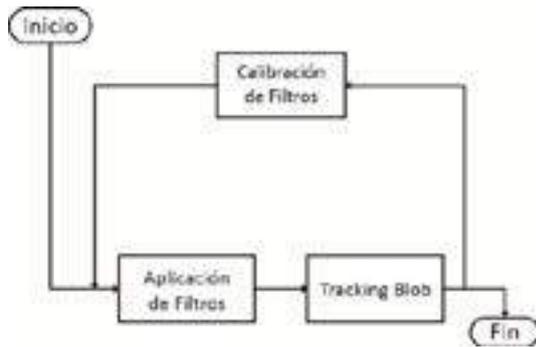


Figura 9. Proceso tracking blob
Fuente: Propia.

El filtro a utilizar en las imágenes obtenidas al inicio es el gaussiano de desenfoque. Se transforma los frames a escala de grises.

El principio del algoritmo *Tracking Blob* se basa en el cambio del tamaño de un objeto en movimiento, además que las estructuras de la imagen pueden variar con el tiempo. Este algoritmo, implementado por la librería OpenCV, trata los problemas de detección de blobs. Adicionalmente, presenta un marco combinado para el seguimiento de características de la imagen que en cada momento se detecta (Bretzner & Lindeberg, 1998). Este método discrimina la detección de movimiento de acuerdo a un coeficiente de relación de alto y ancho de una detección de movimiento encontrada, según se explica en la figura 10:

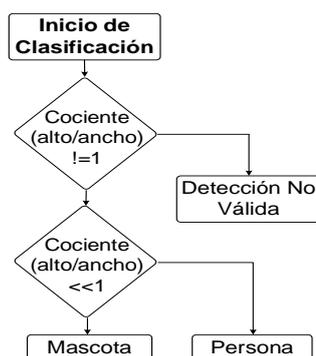


Figura 10. Diagrama de flujo tercer método de clasificación
Fuente: Propia.

Este método de clasificación no contempla el caso en el que el coeficiente de relación (alto/ancho) sea igual a uno, por lo que se tomará como una detección no válida si esto ocurre.

3. RESULTADOS

Se realizó pruebas con distintos archivos de video, usando una cámara fija dentro de un escenario fijo; variando el objeto a detectar. En unos casos se utilizó una mascota y en otros una persona. Con el fin de encontrar falsos positivos, también se utilizó un video en el que aparece una persona gateando.

El número total de videos importado para analizar es 13, todos en formato mp4, con tamaño de 640x360, 20fps y con duración no mayor a un minuto. El computador utilizado tiene un Procesador Intel Core i7 2,6 Ghz, Memoria Ram de 16GB, sistema operativo de 64 bits Windows 8.1.

Se realizó la detección aplicando los tres algoritmos desarrollados, a los *frames* de: una persona de pie y agachada, un niño de pie y un gato, como se muestra en la figura 11:



Figura 11. Resultados detección diferentes escenarios blob detect
Fuente: Propia.



Figura 12. Resultados detección diferentes escenarios surf
Fuente: Propia.

Tras la ejecución de los videos en los respectivos programas, se realizaron tablas de cada proceso. En la tabla 1 se resume los valores obtenidos por el primer algoritmo de procesamiento.



Figura 13. Resultados detección diferentes escenarios blob tracking
Fuente: Propia.

En la columna “No Válida”, se apreciará que todos los valores son cero, ya que este método no detecta un objeto que no esté en movimiento, por lo que no existen falsos positivos en la detección, pero sí en su clasificación, ya que el algoritmo puede confundir, en contadas ocasiones, a una persona con una mascota y viceversa.

Tabla 1
Resultados Programa Blob Detect

Objeto a detectar	Detección			Total de Frames Analizados
	Válida	No Válida	Con error de clasificación	
Mascota 1	62	0	12	960
Mascota 2	0	0	0	1008
Mascota 3	32	0	4	1104
Mascota 4	0	0	0	1200
Persona	65	0	7	768
Mascota 5	0	0	0	360
Mascota 6	40	0	7	576
Mascota 7	39	0	8	480
Mascota 8	32	0	9	1008
Mascota 9	1	0	1	864
Mascota 10	0	0	0	720
Niño	82	0	1	288
Gateador	84	0	50	1344

Fuente: Propia.

En la tabla 2, se observa los valores obtenidos con el segundo algoritmo de procesamiento. En la columna de detección “Con error de clasificación” no existen valores, ya que el algoritmo de clasificación de este procesamiento no contempla este parámetro (figura 8), debido a que se selecciona manualmente la imagen patrón, pudiendo ser una persona o mascota, por lo que, si en el proceso aparece una detección errónea, esta se la etiqueta como “no válida” directamente.

Tabla 2
Resultados programa surf

Objeto a detectar	Detección			Total de Frames Analizados
	Válida	No Válida	Con error de clasificación	
Mascota 1	10	57	n/a	960
Mascota 2	10	180	n/a	1008
Mascota 3	0	0	n/a	1104
Mascota 4	0	0	n/a	1200
Persona	20	37	n/a	768
Mascota 5	0	2	n/a	360
Mascota 6	0	0	n/a	576
Mascota 7	8	11	n/a	480
Mascota 8	2	16	n/a	1008
Mascota 9	1	4	n/a	864
Mascota 10	0	0	n/a	720
Niño	2	4	n/a	288
Gateador	10	50	n/a	1344

Fuente: Propia.

En la tabla 3 se aprecia los valores obtenidos con el tercer algoritmo. En la columna “Detección” se evidencia escasas detecciones “Válidas”, así como “No Válidas” y “Con error de clasificación”, ya que, de los tres, este algoritmo tarda más; explicado con la ayuda de la columna “Total de Frames Analizados”, pudiéndose comparar el total de imágenes analizadas con las detecciones válidas y no válidas, reconociendo que las detecciones son mínimas en comparación con la cantidad de imágenes en todos los videos.

4. DISCUSIÓN.

Los parámetros de análisis son: detecciones válidas, detecciones no válidas, detecciones con error de clasificación, tiempo de procesamiento y porcentaje de CPU utilizado.

En la figura 14 se aprecia la comparación de detecciones válidas generadas por los tres métodos de procesamiento.

Tabla 3
Resultados Programa Blob Tracking

Objeto a detectar	Detección			Total de Frames Analizados
	Válida	No Válida	Con error de clasificación	
Mascota 1	1	0	0	960
Mascota 2	2	4	0	1008
Mascota 3	0	0	0	1104
Mascota 4	4	4	1	1200
Persona	60	0	0	768
Mascota 5	0	0	0	360
Mascota 6	10	0	5	576
Mascota 7	1	0	1	480
Mascota 8	1	2	0	1008
Mascota 9	0	7	0	864
Mascota 10	0	0	0	720
Niño	2	0	0	288
Gateador	4	0	0	1344

Fuente: Propia.

Resulta evidente que el método Blob Detect arroja más detecciones válidas, seguido por el método Surf y, por último, se encuentra el Blob Tracking.

Esto es entendible ya que, el primer método es el más robusto de los tres y tiene más parámetros de discriminación en comparación de los otros dos.

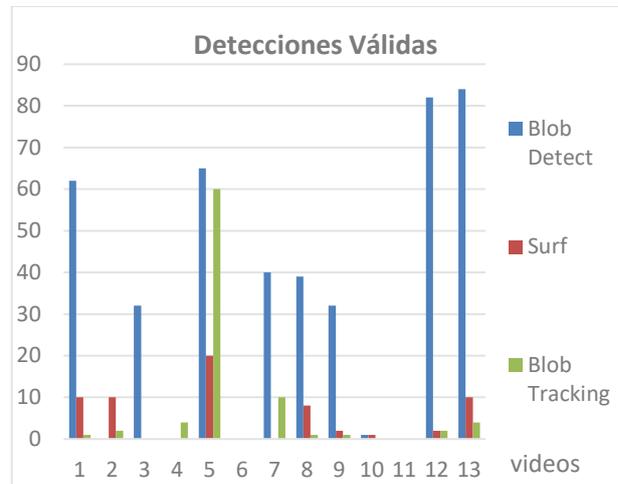


Figura 14. Detecciones Válidas
Fuente: Propia

Referente a las detecciones no válidas, en la figura 15 se observa que el método Surf registra un mayor número, seguido por el Blob Tracking y no existen detecciones no válidas para el método Blob Detect. Esto debido a que el segundo método contempla comparaciones con imágenes patrón y en estas se puede confundir la imagen de fondo luego de haberlas filtrado.

En cuanto al tiempo de procesamiento en relación al tiempo de reproducción del video, siempre este será menor que aquél, debido, justamente, al desfase propio provocado por los cálculos del programa durante su ejecución.

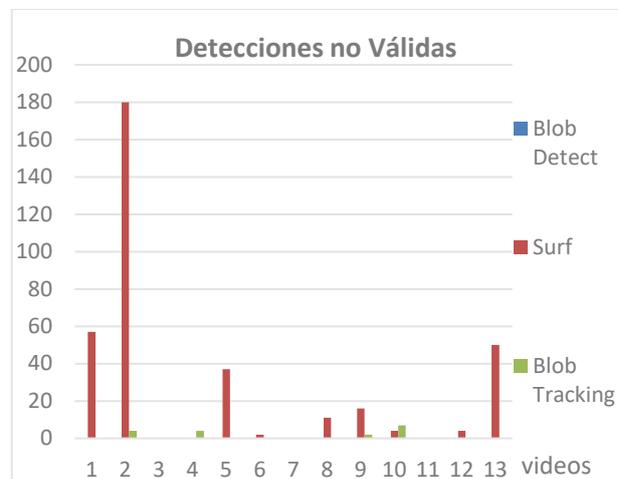


Figura 15. Detecciones no Válidas
Fuente: Propia

La figura 16 muestra que el tiempo de procesamiento del método Blob Tracking en la mayoría de los casos, excepto en los videos 1, 2 y 13, es el mayor de los tres. Esto se debe a que el algoritmo de tracking utilizado ralentiza el proceso.

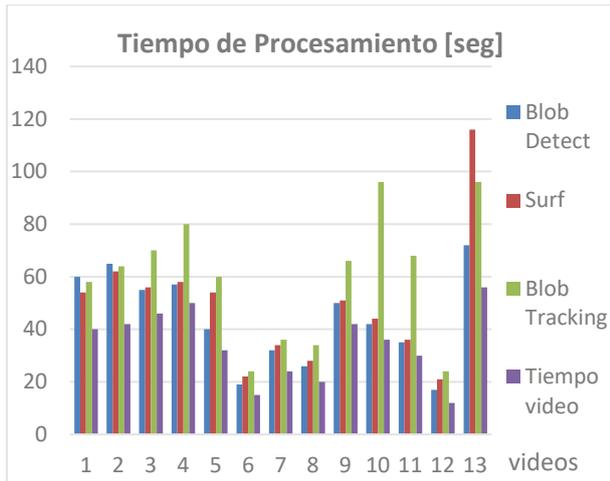


Figura 16. Tiempo de Procesamiento
Fuente: Propia

En la figura 17 se muestra la detección con error de clasificación, y se observa que el método Surf no presenta errores de clasificación; esto, debido a que el algoritmo no contempla tal categoría, ya que la imagen patrón es diferente para cada objeto a detectar (niño, mascota). Lo que sí contempla este método son las detecciones no válidas, las cuales son varias.

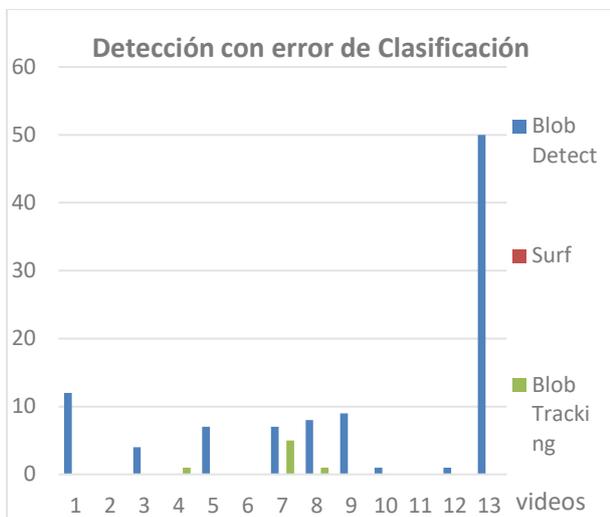


Figura 17. Detección Válida con error de Clasificación
Fuente: Propia

En la figura 18 se aprecia el porcentaje de CPU utilizado al ejecutar los tres programas.

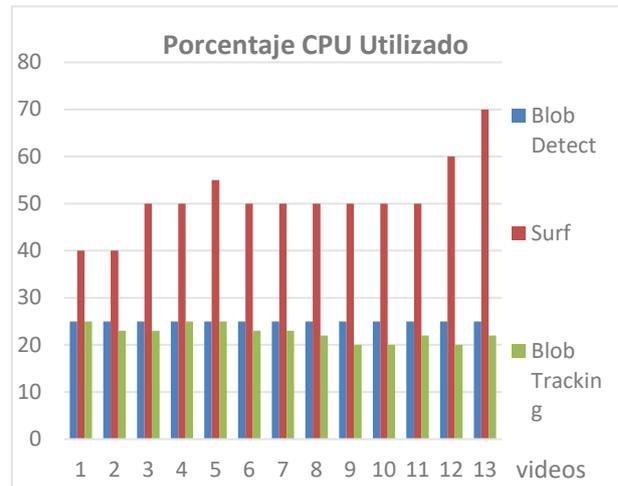


Figura 18. Porcentaje de CPU Utilizado
Fuente: Propia.

El segundo método de procesamiento (*Surf*) es el que más recursos del CPU consume, debido a que los algoritmos de las librerías de comparación de imágenes que contiene OpenCV requieren una gran cantidad de estos para procesar los datos rápidamente; por tal razón, el tiempo de procesamiento de los videos del primer método (*Blob Detect*) no difiere mucho del tercero (*Blob Tracking*).

5. CONCLUSIONES

En este documento se desarrolló un sistema de un banco de pruebas que permitió la ejecución de tres métodos de procesamiento y clasificación de imágenes.

Para ello se ha desarrollado un programa que permita la ejecución de algoritmos y librerías que contienen dichos métodos.

Además, se analizó los resultados presentados en tablas que contenían datos de los diferentes parámetros analizados utilizando gráficas comparativas para conocer el método de procesamiento y clasificación con mejor rendimiento.

Luego del análisis de las gráficas, se puede concluir que el método con mejor rendimiento es el *Blob Detect*, el cual no consume muchos recursos de CPU, su tiempo de procesamiento de imágenes es el esperado y los errores de detección y clasificación son aceptables. Por lo que se lo tomará en cuenta para trabajos futuros.

Asimismo, se plantea introducir el uso de redes neuronales recurrentes (RNN) (Guo, et al., 2016) en la parte de clasificación, ya que en este trabajo se utilizó un simple árbol de decisión binaria y se desea trabajar con redes neuronales para una clasificación más automática y que tenga la capacidad de aprender y alimentar el sistema con datos para mejorar el rendimiento de los métodos de clasificación. Finalmente, se plantea el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) (Wang, et al., 2017) como método innovador para la detección de objetos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Akgul, A. Y. (2010). A Fast Method for Tracking People. *Trends and Topics in Computer Vision* , 143-152.
- Bader, S., Ma, X., & Oelmann, B. (2017). Characterization of Indoor Light Conditions. *IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 17, NO. 12*, 3884-3891.
- Bretzner, L., & Lindeberg, T. (1998). Feature Tracking With Automatic Selection of Spatial Scales. *Computer Vision and Imaging Understanding*, 71, 385-392.
- De la Escalera Hueso, A. (2001). En *Visión por Computador Fundamentos y Métodos* (págs. 12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Dhivya, S., Sangeetha, J., & Sudhakar, B. (2020). Copy-move forgery detection using SURF feature extraction and SVM supervised learning technique. *Soft Computing*, 14429-14440.
- González Jiménez, J. (2000). En *Visión por Computador* (págs. 1,11,49). Madrid: Paraninfo.
- Graham D, F. (2018). Colour and illumination in computer vision. *Interface Focus*, 1-8.
- Guo, T., Xu, Z., Yao, X., Chen, H., Aberer, K., & Funaya, K. (2016). Robust online time series prediction with recurrent neural networks. *Proceedings - 3rd IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics, DSAA*, 816-825.
- Hornberg, A. (2006). En *Handbook of Machine Vision* (págs. 88-101, 362-365, 373-379). Ladenburg: Steingraeber Satztechnik GmbH.
- Huamán, A. (2018). *The OpenCV Tutorials, Release 2.4.13.7*. Recuperado el 17 de 07 de 2020, de https://docs.opencv.org/2.4/opencv_tutorials.pdf
- Kaehler, A., & Bradski, G. (2008). En *Learning openCV computer Vision with the openCV Library* (págs. 1-4). United States of América: O'REILLY.
- Kay, T. M., & Bunyarit, U. (2016). A Survey of Blob Detection Algorithms for Biomedical Images. *7th International Conference on Information Communication Technology for Embedded Systems 2016 (IC-ICTES 2016)*, 57-60. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7467122>
- Lavanya, S., & Lohan, N. (2019). Performance analysis of moving object detection. *Int. J. Spatio-Temporal Data Science*, Vol. 1, No. 1, 22-53.
- Mayo, J. (2002). En *C# Al descubierto* (págs. Introducción,4,8,9). Madrid: PEARSON EDUCATION, S.A.
- Microsoft. (2020). *Tutoriales de Visual Studio C#*. Recuperado el 14 de 07 de 2020, de <https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/get-started/csharp/?view=vs-2019>
- Mushonnifah, S., Nurhadi, H., & Pramujati, B. (2018). Conceptual machine vision design for day and night based on experiment approach. *Proceeding - ICAMIMIA 2017: International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation*, 297-299.
- Pajares Martinsanz, G., & de la Cruz García, J. (2007). En *VISIÓN POR COMPUTADOR Imágenes digitales y aplicaciones* (págs. 146,147,245-254, 338,358,359). Madrid: Ra-Ma.
- Rodríguez Morales, R., & Sossa Azuela, J. H. (2011). En *Procesamiento y Análisis Digital de IMÁGENES* (págs. 155,156,195). Madrid: Ra-Ma.

Ruanpeng, C., Auephanwiriyaikul, S., & Theera, N. (2017). Human and dog movement recognition using fuzzy inference system with automatically generated membership functions. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 1-6.

Wang, D., Zeng, S., Xu, C., Qiu, W., Liang, Y., Joshi, T., & Xu, D. (2017). MusiteDeep: A deep-learning framework for general and kinase-specific phosphorylation site prediction. Bioinformatics, 3909-3916.

Wong, C. E., & Ong, T. J. (2009). A New RMI Framework for Outdoor Objects Recognition. 2009 International Conference on Advanced Computer Control, 555.

Xing, X., & Choi, B.-J. (2013). Comparative Analysis of Detection Algorithms for Corner and Blob Features in Image Processing. International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems vol.13, no.4, 284-290. Obtenido de <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201304536732802.pdf>

Design and modification of fins to improve efficiency in an electrical engine

Diseño y modificación de aletas para mejorar la eficiencia en un motor eléctrico

Dario Borja Soto¹ Cristina Muñoz Gallegos² Andres Moreno Constante³

¹ Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador
E-mail: dxborja@uce.edu.ec

² Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador
E-mail: mgca1024064@gmail.com

³ Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador
E-mail: asmorenoc@uce.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo de investigación se basa en el mejoramiento de la eficiencia de un motor eléctrico al mejorar su disipación de energía, a partir de sus propiedades físicas y mecánicas de la constitución estándar de los motores que se comercializan en el mercado ecuatoriano, debido a que la crisis mundial energética, lo que ha provocado la optimización de recursos.

Los principales problemas que se generan en este tipo de motores son el exceso de temperatura cuando sobrepasaba los 130°C y su nivel de RPM, por lo general son utilizados en la industria y las exigencias a las que van a ser sometidos. Mediante una metodología experimental en el cual se parten de datos tomados en un motor eléctrico y un método cuantitativo se efectúa la comparación de datos para su conclusión mediante el método de deducción.

Los resultados parte del análisis de los parámetros iniciales y fórmulas necesarias para la obtener la mejora en el diseño en el cual se opta por un perfil de aletas parabólico recto con el que la eficiencia de la disipación de calor aumenta de 97 al 98%; y su capacidad de transferencia de calor se beneficia en un 22% más.

Con los datos obtenidos se pudo determinar matemáticamente y por simulación computación

que es viable convertir el perfil de las aletas de un motor eléctrico de 1 HP de recto a un perfil parabólico recto.

Palabras clave-- Disipación calor, Eficiencia térmica, Motor eléctrico, Perfil aletas disipadoras, Termodinámica.

ABSTRACT

This research work is based on improving the efficiency of an electric motor by improving its energy dissipation, based on its physical and mechanical properties of the standard constitution of the motors that are marketed in the Ecuadorian market, due to the fact that the world energy crisis has caused the optimization of resources.

The main problems that are generated in this type of engines are the excess of temperature when it exceeded 130 ° C and their RPM level, they are generally used in the industry and the demands to which they are going to be subjected. By means of an experimental methodology in which data taken from an electric motor and a quantitative method are started, the data is compared for its conclusion using the deduction method.

The results are based on the analysis of the initial parameters and options necessary to obtain the improvement in the design in which a straight parabolic fin profile is chosen with which the

efficiency of heat dissipation increases from 97 to 98%; and its ability to transfer calories benefits 22% more.

With the data obtained, it was possible to determine mathematically and by computer simulation that it is feasible to convert the profile of the fins of a 1 HP electric motor from straight to a straight parabolic profile.

Keywords-- Heat dissipation, Thermal efficiency, Electric motor, Heatsink fins profile, Thermodynamics.

1. INTRODUCCIÓN

La crisis energética y ambiental ha sido un punto importante para el gran impulso visualizado en los últimos años en la implementación de políticas que fomenten el aumento de la eficiencia energética en los equipos consumidores de electricidad. Los sistemas accionados con motores eléctricos son los principales consumidores de la energía eléctrica, esto ha sido crucial para el desarrollo de eficiencia en la producción y funcionamiento de los mencionados motores. (Rosero Garcia et al., 2018)

Los sistemas accionados con motores con su propulsión u accionamiento eléctricos se dividen por campos de importancia, lo que consumen el 46% de la energía eléctrica mundial aproximadamente, (Waide, 2010) considerando que la producción de electricidad a nivel mundial se lo realiza con el uso de maquinaria y equipos que funciona mediante combustible fósiles. (International Energy Agency, 2017) Tomando en cuenta la eficiencia de la operación de los motores eléctricos se puede incrementar por su gestión energética, tomando en cuenta sus cambios en el diseño, y por estrategias de operación óptima. (González Adriana, Quispe Enrique, 2013)

El funcionamiento actual del diseño, así como su disipación de calor de las aletas de los motores

eléctricos, se basa en disminuir la temperatura en el devanado sobre la temperatura ambiente, esto se da por la transferencia de calor del devanado hacia las aletas, el interés es reducir la temperatura interna del motor y mejorar de esta forma la transferencia de calor, logrando tener una mayor eficiencia y una baja de temperatura interna. El motor presente en este estudio trabaja a 1500 R.P.M, a temperatura máxima de 130 °C y una potencia de 1HP.

El presente artículo de investigación tiene como objetivo demostrar la disminución de calor en el funcionamiento de un motor eléctrico basándose en la disipación de calor mediante transferencia de calor por convección entre el devanado y el aire ambiente.

2. DESARROLLO

El estudio se parte usando una metodología experimental en el cual se usa los datos tomados en un motor eléctrico comercial de 1 hp para mejorar su transferencia de calor en la edición del diseño de sus aletas disipadores, usando un método cuantitativo se efectúa la comparación de datos obtenidos por parte del elemento estándar y mejorado, y mediante deducción poder dar la mejor alternativa para el diseño de disipación del motor eléctrico de 1hp obteniendo el mayor provecho posible.

La investigación inicia en el análisis de los parámetros iniciales y fórmulas necesarias para la deducción de los valores necesarios para el estudio, se debe tener en cuenta que la transferencia de calor por convección, depende de la presencia de algún movimiento masivo del fluido (Yunus A., 2013).

Las fórmulas requeridas para el estudio de la transferencia de calor fueron obtenidas en las escrituras del libro de Yunus, (Yunus A., 2013); las cuales se describen a continuación

Ley de enfriamiento de Newton

$$\dot{Q}_{conv} = h * A_s(T_s - T_{\infty}) \quad (1)$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} = Transferencia calor convección. [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. [W/m² * °C]

A_s = Área superficial de transferencia de calor. [m²]

T_s = Temperatura de la superficie. [°C]

T_∞ = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie. [°C]

La razón de transferencia de calor se la obtendrá mediante

$$\dot{Q} = k * A \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

Donde:

\dot{Q} = Transferencia calor convección. [W]

k = Conductividad térmica. [W/m² * °C]

A = Área superficial de transferencia de calor. [m²]

T_1 = Temperatura de la superficie inicial. [°C]

T_2 = Temperatura de la superficie final. [°C]

La resistencia por conducción, para lo cual se describe en la ecuación 4 a partir de la ecuación 3.

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{T_2 - T_1}{R_{cond}} \quad (3)$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} = Transferencia calor conducción. [W]

R_{cond} = Resistencia térmica por contacto.

[m² · °C/W]

A = Área superficial de transferencia de calor. [m²]

T_1 = Temperatura de la superficie inicial. [°C]

T_2 = Temperatura de la superficie final. [°C]

$$R_{cond} = \frac{L}{k * A} \quad (4)$$

Donde:

R_{cond} = Resistencia térmica por contacto.

[m² · °C/W]

A = Área superficial de transferencia de calor. [m²]

k = Conductividad térmica. [W/m * °C]

L = Longitud; mitad del espesor de una pared plana. [m]

Mientras que la resistencia por convección se visualiza en la ecuación 6 partiendo de la ecuación 5.

$$\dot{Q}_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} \quad (5)$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} = Transferencia calor convección. [W]

T_s = Temperatura de la superficie. [°C]

T_∞ = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie. [°C]

R_{cond} = Resistencia térmica por contacto.

[m² · °C/W]

$$R_{conv} = \frac{1}{h * A_s} \quad (6)$$

Donde:

R_{cond} = Resistencia térmica por contacto.

[m² · °C/W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. [W/m² * °C]

A_s = Área superficial de transferencia de calor. [m²]

La resistencia por radiación, es esencial para el estudio de transferencia de calor por lo cual se obtiene con la ecuación 8 partiendo de la ecuación 7.

$$\dot{Q}_{rad} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{rad}} \quad (7)$$

Donde:

\dot{Q}_{rad} = Transferencia calor radiación. [W]

T_s = Temperatura de la superficie. [°C]

T_∞ = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie. [°C]

R_{rad} = Resistencia térmica por radiación.

[m² · °C/W]

$$R_{rad} = \frac{1}{hrad * A_s} \quad (8)$$

Donde:

R_{rad} = Resistencia térmica por radiación.

[m² · °C/W]

$hrad$ = Coeficiente de transferencia de calor por

radiación. [W/m² * °C]

A_s = Área superficial de transferencia de calor. [m²]

El cálculo de áreas y características de las aletas rectangulares rectas se visualizan en las ecuaciones 9, 10 y 11.

$$m = \sqrt{\frac{2h}{k \cdot t}} \quad (9)$$

Donde:

m = Fracción de masa. [1/kg]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. [W/m² * °C]

k = Conductividad térmica. [W/m * °C]

t = Espesor. [m]

$$L_c = L + \frac{t}{2} \quad (10)$$

Donde:

L_c = Longitud característica o corregida. [m]

L = Longitud; mitad del espesor de una pared plana. [m]

t = Espesor. [m]

La fórmula del área de la aleta se evidencia en la ecuación 11.

$$A_{aleta} = 2wL_c \quad (11)$$

Donde:

A_{aleta} = Área superficial de transferencia de calor aleta. [m²]

L_c = Longitud característica o corregida. [m]

w = Ancho de aleta. [m]

Para la eficiencia en las aletas se aplica la ecuación 12.

$$n_{aleta} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad (12)$$

Donde:

n_{aleta} = Eficiencia de la aleta

L_c = Longitud característica o corregida. [m]

m = Fracción de masa. [1/kg]

La razón de la transferencia de calor por convección natural desde las aletas se puede determinar a partir de la ecuación 13

$$Q_{aleta} = n_{aleta} * h * A_{aleta} (T_2 - T_1) \quad (13)$$

Donde:

Q_{aleta} = Razón de la transferencia de calor por convección. [W]

n_{aleta} = Eficiencia de la aleta

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. [W/m² * °C]

A_{aleta} = Área superficial de transferencia de calor aleta. [m²]

T_1 = Temperatura de la superficie inicial. [°C]

T_2 = Temperatura de la superficie final. [°C]

La evaluación de la conveniencia de uso de aletas para el sistema de disipación de Energía se lo representa como E y se usa la fórmula 14, la misma que si es mayor a 2 justifica su uso adecuado.

$$E_{aleta} = \frac{Q_{aleta}}{h * A_b * (T_b - T_{\infty})} \quad (14)$$

Donde:

E_{aleta} = Evaluación de la conveniencia de uso de aletas

Q_{aleta} = Razón de la transferencia de calor por convección. [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. [W/m² * °C]

A_b = Área superficial de transferencia de calor aleta. [m²]

T_b = Temperatura de la superficie. [°C]

T_{∞} = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie. [°C]

Al modificar la cantidad, separación, dimensión y ángulo de las aletas se puede determinar el rendimiento del equipo. Que un motor trabaje a temperaturas óptimas permite que su trabajo sea más eficaz y su rendimiento mayor, la tendencia que se evidencia en la producción es generar

innovaciones en la refrigeración de motores que buscan cumplir con estas demandas de temperatura. (Quispe, 2001)



Figura 1: Motor eléctrico 1HP comercial
Fuente: (Quispe E. C., 2013)

La ejecución del análisis matemático para las aletas parabólicas rectas posee fórmulas matemáticas distintas por su perfil en comparación a las rectas, la variable de corrección C_1 se usa la ecuación 15; el área de aleta con la ecuación 16 y para finalizar con el cálculo de la eficiencia de su perfil con la ecuación 17, considerando que los datos de energía son los mismos.

$$C_1 = \sqrt{1 + (t/L)^2} \tag{15}$$

Donde:

- C_1 = Longitud característica o corregida. [m]
- L = Longitud; mitad del espesor de una pared plana. [m]
- t = Espesor. [m]

$$A_{aleta} = wL \left[C_1 + \left(\frac{L}{t} \right) \ln \left(\frac{t}{L} + C_1 \right) \right] \tag{16}$$

Donde:

- A_{aleta} = Área superficial de transferencia de calor aleta. [m²]
- C_1 = Longitud característica o corregida. [m]
- L = Longitud; mitad del espesor de una pared plana. [m]
- w = Ancho de aleta. [m]
- t = Espesor. [m]

$$n_{aleta} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2mL)^2 + 1}} \tag{17}$$

Donde:

- n_{aleta} = Eficiencia de la aleta
- L = Longitud; mitad del espesor de una pared

- plana. [m]
- m = Fracción de masa. [1/kg]

Los datos iniciales fueron adquiridos por un motor eléctrico Estándar, que se puede visualizar en la investigación de (Quispe E. C., 2013), los mismos se especifican en la tabla 1, tomando en cuenta que la temperatura donde se adquirieron los datos es ambiente 20°C.

Tabla 1
Características del sistema actual

CARACTERISTICA	VALOR
Peso	11 [kg]
Consumo	5.22 [Amp.]
Índice de protección	IP 44/F
Factor de potencia	0.92
Alimentación	220 [V] / 50 [Hz]
Velocidad	1500 [RPM]
Potencia	1 [HP]
Temperatura máxima de trabajo	130 [°C]
Material	Hierro fundido

Fuente: Propia

Materiales y equipos utilizados durante la investigación

- Calibrador pie de rey
- Autodesk Inventor 2017
- Complemento CFD

El diseño original, con el cual se parte consta de aletas de enfriamiento rectas de sección transversal uniforme, las mismas que se observa en la figura 1, y en el simulador CAD se visualiza en la figura 2.

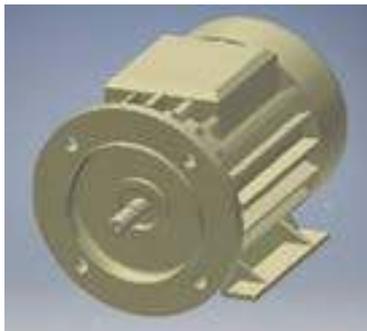


Figura 2: Motor eléctrico 1HP comercial simulación
Fuente: propia

Según el estudio de (Ek, 2015), manifiesta que optar por aletas parabólicas rectas es una alternativa válida para el mejoramiento en la disipación de energía en el motor, el nuevo diseño tentativo se evidencia en la figura 3. La modificación se efectuó en el simulador computacional Inventor, en el mismo se realizó la esquematografía.



Figura 3: Motor eléctrico 1HP comercial simulación aletas parabólicas
Fuente: propia

El estudio de la mejora computacional en la disipación de energía se basa en el cambio de aleta recta sin mejora a las aletas parabólicas, los mismos que están fundamentados en cálculos matemáticos, con los que se pueden obtener resultados que fortalecen la hipótesis experimental que se ejecutó en la simulación

2.1 Cálculos de aletas rectas sin mejora del diseño

Datos:

- $T_b = 130^{\circ}C$

- $k = 15.1 \frac{W}{m^{\circ}K}$
- $t = 4x10^{-3}m$
- $L = 8mm$
- $w = 113mm$
- $h = 25 \frac{W}{m^2^{\circ}K}$
- $T_{\infty} = 20^{\circ}C$

Para la ejecución del cálculo, se basa en el perfil y dimensionamiento de la aleta de disipación de energía como se aprecia en la figura 4, la que demuestra que es recta.

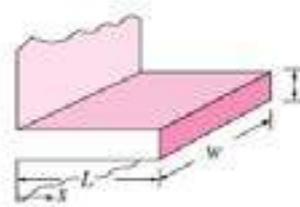


Figura 4: Perfil aleta recta motor eléctrico 1HP.
Fuente: (Yunus A., 2013)

Con el uso de la ecuación 9 se sustituyen datos y se opera.

$$m = \sqrt{\frac{2h}{k * t}} = \sqrt{\frac{2(25W/m^2.^{\circ}K)}{\left(15.1 \frac{W}{m^{\circ}K}\right) (4x10^{-3})}} = 28.77 m^{-1}$$

La longitud corregida se consigue con la ecuación 10 se sustituyen datos y se opera.

$$Lc = L + \frac{t}{2} = 8x10^{-3} + \frac{4x10^{-3}}{2} = 0.01m$$

El área de la aleta se necesita el uso de la ecuación 11 al reemplazar datos adquiridos en variables con ecuaciones previas.

$$A_{aleta} = 2wLc = 2(0.113m)(0.01m) = 2.26x10^{-3}$$

La eficiencia que posee los elementos, en el caso de la investigación la aleta se usa la ecuación 12, se reemplazan datos y se obtiene el resultado.

$$n_{aleta} = \frac{\tanh mLc}{mLc} = \frac{\tanh(28.77 * 0.01)}{28.77 * 0.01} = 0.97$$

La transferencia de calor que puede disipar las aletas se obtiene mediante la aplicación de la ecuación 13 con los datos base y datos obtenidos en ecuaciones previas.

$$Q_{aleta} = 0.97 * \frac{25W}{m^2 * ^\circ K} * 2.26x10^{-3} m^2 * (403 - 293) = 6.02 W$$

La evaluación de la conveniencia de uso de aletas para el sistema de disipación de Energía, y con esto determinar si su aplicación es idónea se usa la ecuación 14.

$$E_{aleta} = \frac{6.02 W}{\frac{25W}{m^2 * ^\circ K} * (4.52x10^{-4} m^2)(403 - 293)^\circ K} = 4.84$$

2.2 Cálculos de aletas modificadas. (Aletas parabólicas rectas)

Para la toma de los nuevos datos se enfoca en el diseño computacional y su mejor respuesta al ejecutar un proceso de prueba y error, el diseño que mejores prestaciones se obtuvo con los parámetros a continuación descritos, tomando en cuenta el cambio de perfil de la aleta de disipación.

Datos:

- $T_b = 130^\circ C$
- $k = 15.1 \frac{W}{m * ^\circ K}$
- $t = 5x10^{-3}$
- $L = 9mm$
- $w = 113mm$
- $Az = 0.4 m$
- $h = 25 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}$
- $T_\infty = 20^\circ C$

La ejecución del cálculo con el nuevo perfil, se basa en el dimensionamiento de la aleta de disipación parabólica recta de energía como se aprecia en la figura 5.

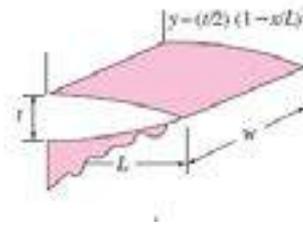


Figura 5: Perfil aleta parabólica recta motor eléctrico.
Fuente: (Yunus A., 2013)

Con el uso de la ecuación 9 se sustituyen datos y se opera, para obtener la fracción de masa.

$$m = \sqrt{\frac{2h}{k * t}} = \sqrt{\frac{2 \left(\frac{25W}{m^2} \cdot ^\circ K \right)}{\left(15.1 \frac{W}{m^\circ K} \right) (5x10^{-3})}} = 25.73 m^{-1}$$

El factor de corrección para la aleta parabólica se obtiene con el uso de la ecuación 15.

$$C_1 = \sqrt{1 + (t/L)^2}$$

$$C_1 = \sqrt{1 + (5x10^{-3}m/9x10^{-3}m)^2}$$

$$C_1 = 1.14$$

El área de la aleta se calcula a partir del factor de corrección con el uso de la ecuación 16.

$$A_{aleta} = wL \left[C_1 + \left(\frac{L}{t} \right) \ln \left(\frac{t}{L} + C_1 \right) \right]$$

$$A_{aleta} = 0.113m * 9x10^{-3} * \left[1.14 + \left(\frac{9x10^{-3}}{5x10^{-3}} \right) * \ln \left(\frac{5x10^{-3}}{9x10^{-3}} + 1.14 \right) \right]$$

$$= 2.89 x 10^{-3}$$

La eficiencia para este perfil se usa la ecuación 17.

$$n_{aleta} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2mL)^2 + 1}}$$

$$n_{aleta} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2(25.73)(9x10^{-3})^2 + 1)}} = 0.98$$

La transferencia de calor que puede disipar las aletas se obtiene mediante la aplicación de la ecuación 13.

$$Q_{aleta} = n_{aleta} * h * A_{aleta} (T_2 - T_1)$$

$$Q_{aleta} = 0.98 * \frac{25W}{m^2 * ^\circ K} * 2.89x10^{-3} m^2$$

$$(403 - 293) = 7.78 W$$

La evaluación de la conveniencia de uso de aletas para el sistema de disipación de Energía, y con esto determinar si su aplicación es idónea se usa la ecuación 14.

$$E_{aleta} = \frac{Q_{aleta}}{h * A_b * (T_b - T_\infty)}$$

$$= \frac{7.78 W}{\frac{25W}{m^2 * ^\circ K} * (5.65x10^{-4} m^2)(403 - 293)^\circ K}$$

$$= 5.83$$

Las resistencias del sistema es un factor crucial para el análisis de los datos obtenidos con la aleta parabólica recta, y así lograr un análisis apropiado al conjunto, más no al elemento individual, por lo que se ocupan las ecuaciones 4, 5 y 6, respectivamente.

$$R_{conv} = \frac{1}{h.Az} = 0,1 K/w$$

$$R_{cond} = \frac{L}{K.As} = 15,09 K/w$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h.As} = 1,9 ^\circ K/w$$

$$RT = 17,09^\circ k/W$$

$$Q = \frac{\Delta T}{RT} = \frac{403 - 293^\circ K}{17,09^\circ K/w} = 6,43 W$$

3. RESULTADOS

Los valores relevantes de los cálculos se evidencian en la tabla número 2 en la cual se especifica la eficiencia alcanzada en los dos diseños estándar y modificado, así también la capacidad de disipación de calor y la evaluación de la conveniencia de uso de aletas para el sistema de disipación de Energía

Tabla 2
Comparativa de valores generados mediante cálculos.

MOTOR SIN MODIFICAR	MOTOR MODIFICADO
$n_{aleta} = 0.97$	$n_{aleta} = 0.98$

$$Q_{aleta} = 6.02 W$$

$$Q_{aleta} = 7.78 W$$

$$E_{aleta} = 4.84$$

$$E_{aleta} = 5.83$$

Fuente: Propia

Un factor para visualizar los resultados, se especifica la simulación computacional en la cual se especifica los resultados de las condiciones de diseño y simulación en el software en la tabla 3.

Tabla 3
Condiciones de simulación

CARACTERISTICA	VALOR
Temperatura trabajo	130°C
Temperatura ambiente	20°C
Tipo de fluido	Aire
Velocidad del fluido	0.5 m/s
Presión	0
Material	Hierro

Fuente: Propia

3.1 Simulación en CFD

El resultado de la simulación del motor eléctrico se evidencia en la figura 6, en base a condiciones de frontera, para su posterior simulación



Figura 6: Simulación con condiciones de frontera de motor eléctrico
Fuente: Propia

Para la simulación se procedió a la transformación

en mallado del elemento, en este resultado se deben efectuar para los dos tipos de aletas.

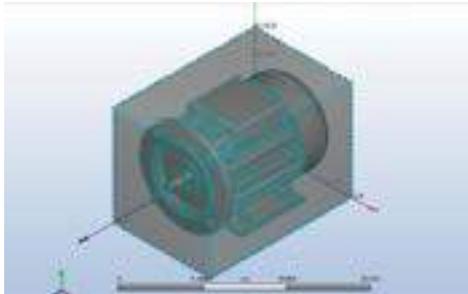


Figura 7: Simulación con mallado de motor eléctrico.
Fuente: Propia

La simulación del motor eléctrico con aletas de enfriamiento rectas sin modificación se verifica en la figura 8, en el cual se resalta un campo muy definido de disipación de calor, sin cambios bruscos, así como en la figura 10 las curvas características de su comportamiento a la simulación.

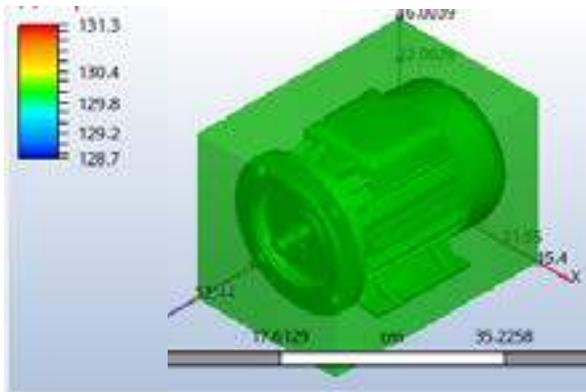


Figura 8: Simulación comportamiento de motor eléctrico sin modificaciones en aletas.
Fuente: Propia

Al efectuar la modificación en las aletas de disipación del motor eléctrico se muestra el comportamiento del medio en la figura 9, en el cual se evidencia un cambio acelerador de temperatura con su entorno.

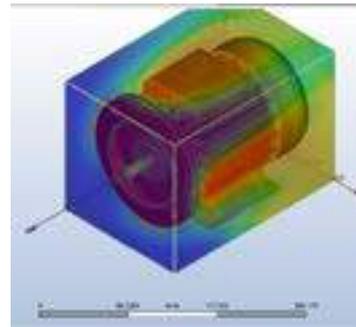


Figura 9: Simulación comportamiento de motor eléctrico con modificaciones en aletas.
Fuente: Propia

4. DISCUSIÓN

Al diseñar y modificar las aletas para el mejoramiento de la eficiencia de un motor se logró plantear los resultados obtenidos que se dieron a conocer gracias a la resolución de las ecuaciones realizadas con datos de un motor en condiciones de trabajo y de esta forma evidenciar la mejora de la eficiencia de un 97 a un 98%.

La capacidad de disipación de calor se elevó de 6.02 a 7.78 W con un incremento del 29.24%, por lo que su comportamiento será mejor al tener almacenada menos energía en su interior por su mejora en la capacidad de disipación.

La evaluación de la conveniencia de uso de aletas para el sistema de disipación de energía, fue favorable en los análisis ya que, se obtuvo que para que sea viable debe superar el valor el valor a 2 en el un caso estándar es 4.84 y 5.83 con la modificación.

En las gráficas de simulación computación se logra apreciar que la figura 9 la disipación del motor eléctrico con aletas parabólicas rectas tiene una mejor transferencia de calor la cual provoca que el medio sufra alteraciones de color amarillo y rojo en sus puntos más calientes, no así en la figura 9 que todo el campo se encuentra de verde sin una disipación aceptable

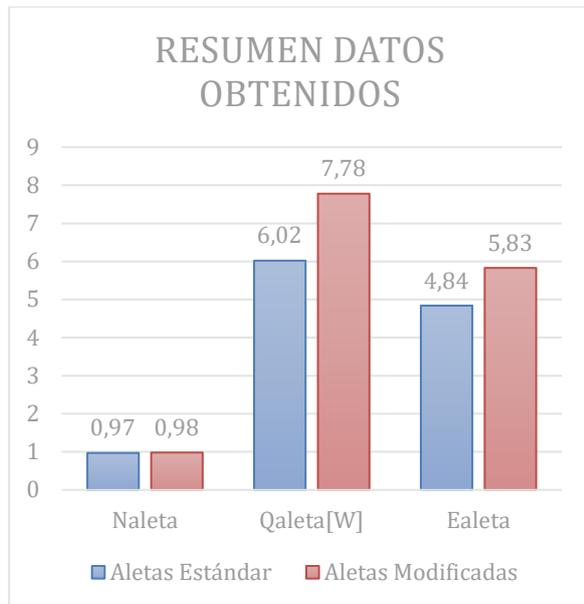


Figura 10: Resumen resultados obtenido del motor eléctrico con y sin modificaciones en aletas.
Fuente: Propia

5. CONCLUSIONES

Luego de haber finalizado la investigación sobre la modificación de aletas en un motor, se puede concluir que la eficiencia de las aletas parabólicas rectas es de 0.98 mientras que las aletas rectangulares rectas 0.97 lo cual demuestra una mejora significativa para el funcionamiento y desempeño del motor, de igual forma por medio del diseño computarizado se evidencia la mayor disipación con la mejora.

Mediante la simulación en CFD se concluye que la temperatura generada al interior del motor por el movimiento mecánico va a disiparse hacia el ambiente con una mayor velocidad de transferencia de calor con las aletas parabólicas rectas, la capacidad de disipación de calor se elevó de 6.02 a 7.78 W con un incremento del 29.24%.

Al tener mejor disipación de temperatura en el motor se logra mayores RPM (revoluciones por minuto), incrementar la vida útil, y desarrollar una mayor tiempo de vida útil, el cual se recomienda como complemento de la investigación.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente, quienes conformamos el Consejo Editorial de Revista de Investigación Tecnológica del IST Central Técnico, recalcan la importancia de la claridad que deberá tener en trabajo científico en las conclusiones alcanzadas. Las mismas deberán resaltar las contribuciones más importantes en relación con otras metodologías del estado del arte, así como las deficiencias y problemas que hayan surgido en el desarrollo de la misma, que permitan vislumbrar trabajos futuros y solucionar rápidamente los problemas que se puedan suscitar.

Es importante aclarar que los Trabajos Técnicos que no atiendan las instrucciones establecidas en la presente Guía serán devueltos a los Autores para que realicen las debidas correcciones, respetando los plazos vigentes. El incumplimiento de los plazos podrá dar lugar a la devolución del trabajo. El Consejo Editorial de Revista de Investigación Tecnológica del IST Central Técnico no asume ninguna responsabilidad con respecto a las correcciones necesarias o al contenido de los trabajos en la cual estén conformes a las exigencias establecidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González Adriana, Quispe Enrique, C. R. (2013). La Industria Del Cemento Por Proceso Húmedo a Integral De La Energía. *Dyna*, 80, 115–123.
- Mesalhy, O., Rath, C., Rini, D., Kizito, J., Leland, Q., & Chow, L. (2020). A parametric fin structure design study for cooling aerospace electro-mechanical actuators with high-speed axial fans. *Heat and Mass Transfer/Waerme-Und Stoffuebertragung*, 56(5), 1565–1577. <https://doi.org/10.1007/s00231-019-02791-y>
- Putra, N., & Ariantara, B. (2017). Electric motor thermal management system using L-shaped flat heat pipes. *Applied Thermal Engineering*, 126, 1156–1163. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.01.090>
- Ramakrishna, D., Basak, T., Roy, S., & Pop, I. (2012). Numerical study of mixed convection within porous

- square cavities using Bejan's heatlines: Effects of thermal aspect ratio and thermal boundary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(21–22), 5436–5448. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.04.058>
- Rosero Garcia, J. A., Quispe Oqueña, E. C., & Castrillon Mendoza, R. D. P. (2018). Trends in standardization, technology development and applications of energy efficient motors/Tendencias en la normatividad, el desarrollo tecnológico y la aplicación de motores eléctricos de alta eficiencia. *Prospectiva*, 16(1), 83–90. <https://doi.org/10.15665/rp.v16i1.1448>
- Waide, P. (2010). Phase out of incandescent lamps. *Environment*.
- Yunus A., Ç. (2013). Transferencia de Calor y Masa. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1(9), 1699.
- Ek, T. (2015). Eficiencia en motores eléctricos. . *Mundo HVAC&R*.
- International Energy Agency. (20 de Enero de 2017). *Key World Energy*. Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>
- Quispe, E. (2001). MÉTODOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL USO DE MOTORES ELÉCTRICOS. *IEEE, ACIEM*.
- Quispe, E. C. (2013). Características Electromecánicas, Ventajas y. Motores Eléctricos de Alta. *IEEE*.

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca
Quito - Ecuador • Telf.: (593) 2403096
www.istct.edu.ec • www.investigacionistct.ec • investigacionistct20@gmail.com