

Ingeniantes®

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

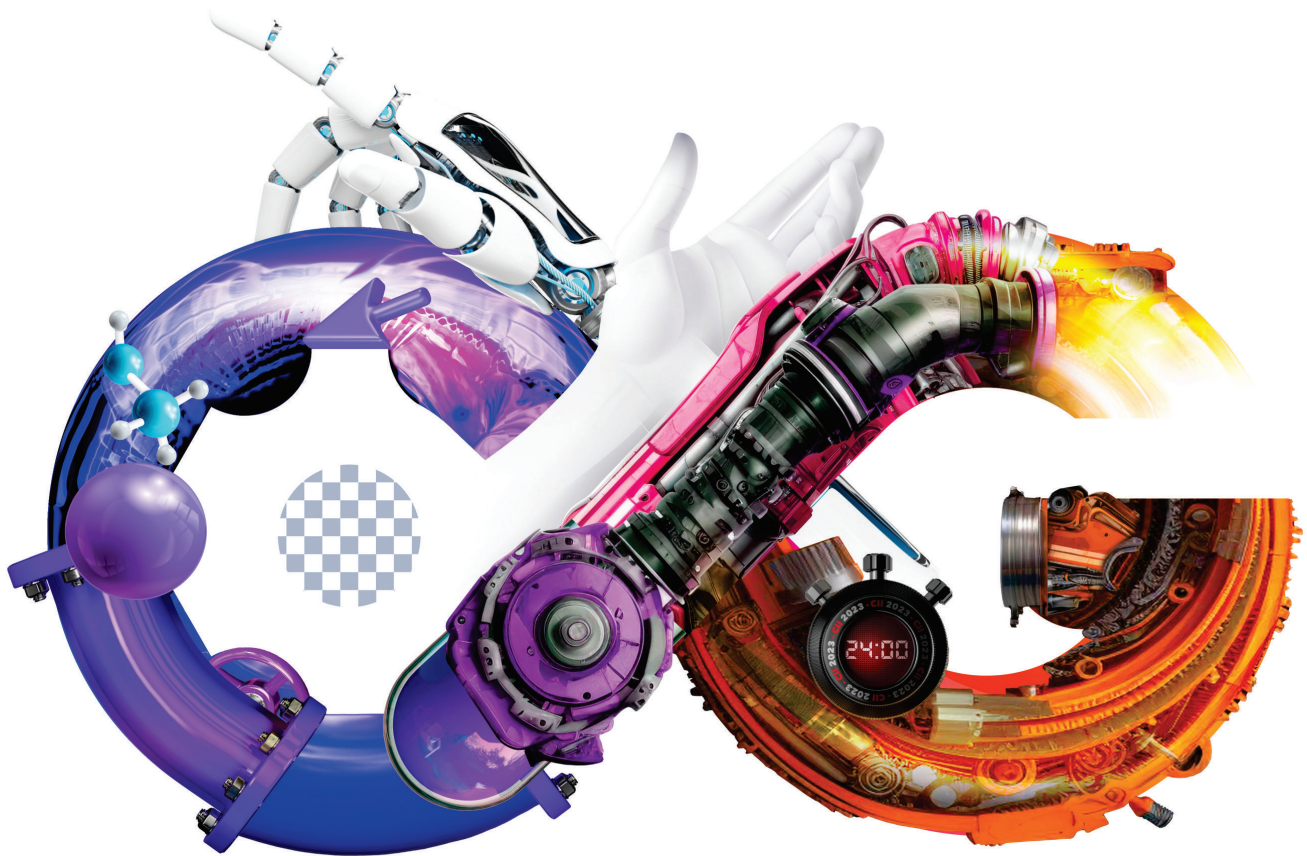


SOLUCIONES
INTERDISCIPLINARIAS PARA UN
**CAMBIO
GLOBAL**

latindex

ISSN 2395-9452

16, 17 Y 18 DE NOVIEMBRE



CI

CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INGENIERÍAS

2023

Edición Especial

Ingeniantes

Año 10 / No. 2 / Vol. 2

Información Legal

Ingeniantes, Año 10, No. 2, Vol 2. Diciembre 2023 - mayo 2024, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93850, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93850, fecha de última modificación, 22 de diciembre de 2023.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 22843.

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

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

Cuerpo Editorial

Editor General
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Editor
Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas
Coeditor
Lic. Erik Balderas González

Administración

Ing. Mayra Lizeth Méndez Oloarte

Propiedad Intelectual

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

Sistemas

Administrador de Sistemas
M.S.C. Fernando Alberto Hernández Guevara
Webmaster
L.I. Ana Marcela Gutiérrez Romero

Distribución

Publicación electrónica disponible en
citt.itsm.edu.mx/ingeniantes
Correo electrónico:
revista.ingeniantes@itsm.edu.mx
<https://www.latindex.org/latindex/ficha/22843>

Directorio

M.G.E. Jorge Alberto Lara Gómez

Director General, ITSM, Veracruz, México

Mtro. Arturo Olguin Hernández

Director Académico, ITSM, Veracruz, México

M.B.A. Maribel García Alvarado

Subdirectora Académica, ITSM, Veracruz, México

Dra. María Cristina López Méndez

Subdirectora de Posgrado e Investigación, ITSM, Veracruz, México

Lic. Adriana López Trujillo

Subdirectora Administrativa, ITSM, Veracruz, México

Lic. Julio Cesar Rosas Cruz

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Lic. Laura Eugenia Hernández Pérez

Subdirectora de Planeación, ITSM, Veracruz, México

M.C.E. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US	SNI	Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH
Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH	SNI	Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT
Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET	SNI	Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP
Dr. Abel García Barrientos, UASLP	SNI	Dr. Alfredo Alberto Morales Tapia, UV
Dr. David Lara Alabazares, ITSM	SNI	Dr. Ramón Álvarez López, UDG
Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM	SNI	Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM
Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ	SNI	Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM
Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON	SNI	Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM
Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT	SNI	Dr. Joel Pozos Osorio, HUB2i
Dr. Eduardo Mael Sánchez Coronado, ITCV	SNI	Dra. Ana Lilia Sosa y Durán, ITSM
Dr. Jesús Antonio Álvarez Cedillo, IPN	SNI	Dr. José Pastor Rodríguez Jarquín, ITO
Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM	SNI	Dr. Guillermo Alfredo Arrijoja Carrera, UX
Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET	SNI	Dr. Modesto Raygosa Bello, ITO
Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET	SNI	Dr. Luis Alberto Nava Ordoñez, UPAEP
Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ	SNI	Dr. Luis Enrique García Santamaría, ITSM
Dr. José Luis Marín Muñoz, CV	SNI	Dr. Irahan Otoniel José Guzmán, ITSM
Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA	SNI	Dra. Alicia Martínez Rebollar, CENIDET
Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT	SNI	Dr. Humberto Raymundo González Moreno, ITSM
Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM	SNI	Dr. Alan Rico Barragán, ITSM
Dra. María Cristina López Méndez, ITSM	SNI	M.C. Clovis Nchikou, ITNL
Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM	SNI	M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI
Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ	SNI	M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR
Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET	SNI	M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR
Dr. Juan Carlos González Hernández, ITM	SNI	M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, ITSAV
Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNA	SNI	M.I.I. Mario Pérez Acosta, ITSM
Dra. Paula Rosalinda Antonio Vidaña, UTCV	SNI	M.I.I. Leonardo Martínez Lara, ITSAV
Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro, UV	SNI	M.S.C. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM
Dra. Blanca Dina Valenzuela Robles, CENIDET	SNI	M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM
Dr. Daniel Martínez Navarrete, ITSAV	SNI	M.C. Vladimir Zagoya Juárez, ITSM
Dra. Laura Celina Ruelas Monjardín, UV	SNI	M.G.C. Eduardo Gutierrez Almaraz, ITSM
Dr. Luis Mejía Macario, ITSM	C. SNI	M.I.I. Giovanni Luna Chontal, ITSM
Dra. Paula Rosalinda Antonio Vidaña, UTCV	C. SNI	M.A. Luz del Carmen Muñoz Palacios, UTCV
Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA		M.C. Joel Maurilio Morales García, ITSM
Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN		

Ingeniantes



03



11



17



23



28



33

Contenido

Cambios cognitivos en una simulación de manejo _____ 03

Leonardo Alberto Alanís Castro; Ana Isela García Acosta; Jorge de la Riva Rodríguez, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Evaluación de efecto de secado por ventana de refractancia en mesocarpio de sandía _ 11

Karla Yoali Sánchez Andrade; Rosalía Cerecero Enríquez, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba; José Manuel Tejero Andrade Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz; Leticia López Zamora, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba

Efecto de la congelación en las propiedades termodinámicas de pasta de tomate _____ 17

Arely Cano Garay; Rosalía Cerecero Enríquez; José Manuel Tejero Andrade; Leticia López Zamora; Eusebio Bolaños Reynoso, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba

Análisis costo-beneficio de humedal de tratamiento ornamental a gran escala _____ 23

Saúl Antonio Rivera González; Luis Carlos Sandoval-Herazo; Mayerlin Sandoval-Herazo; Joaquín Sangabriel Lomeli, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Efecto de la molienda mecánica en la microestructura de titanato de calcio (CaTiO_3) ____ 28

Balter Trujillo-Navarrete; Juan José Hinojosa-Mojarro; Samantha Nereyda Benitez-Suárez; Rosa María Félix-Navarro, Tecnológico Nacional de México Campus de Tijuana

Diseño de un sistema acuapónico de baja intensidad para la producción de *Oreochromis niloticus* y *Nasturtium officinale* para ambientes urbanos _____ 33

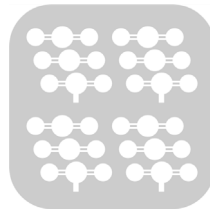
Martha Elena Rodríguez Hernández; Gustavo Martínez Castellanos; María Cristina López Méndez; María Guadalupe López Landero; Jessica Yasmin García González, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla



41



48



56



61



67



74

Monitoreo del stripping en el Sistema RAP-Geomalla _____ 41
 Jaime Romualdo Ramírez Vargas; Sergio Aurelio Zamora Castro; María Eugenia Díaz Vega; Saul Castillo Aguilar, Universidad Veracruzana

Caracterización electroquímica del material compuesto A3104 - AISI304 en agua de mar sintética _____ 48
 Alfredo Reda Cruz; José Damian Calan Canche; Salatiel Pérez Montejo, Universidad Autónoma del Carmen, Campus III; Emilio Augusto Álvarez García, Universidad Tecnológica de Campeche; José Enrique Flores Chan, Universidad Autónoma del Carmen, Campus III

Estimación de ahorro de CO₂ en la operación de una planta fotovoltaica de 500 kW ___ 56
 Alejandra Jiménez; Allen Castillo; Gerardo Ayala; José Navarro; Irán Arias, Universidad Autónoma de Baja California

Propuesta del rediseño de la red LAN en el centro de cómputo del Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale _____ 61
 Martínez Hernández Mariela Lizeth; Antonio Benito Gaudencio; Iván Hernández Hernández, Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale

Red neuronal convolucional para la clasificación de piezas mecánicas usando un sistema de visión artificial _____ 67
 Ibarra Bonilla Mariana Natalia; Eusebio Grande Raul; López Velázquez Julio Ivan, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

Algoritmo de control para máquina grabadora de placas utilizadas en la decoración de pantalón de mezclilla _____ 74
 Alfredo Carrasco Aráoz; Jorge Rivera Flores, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Cambios cognitivos en una simulación de manejo

RESUMEN: La neuroergonomía, ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años, debido a la necesidad de conocer el impacto sobre el estado de ánimo de los trabajadores, esto conforme a las actividades que estos desarrollan en los múltiples espacios de trabajo.

Una de las áreas que cobra importancia es la del transporte, el cual termina provocando diversos incidentes donde hay pérdidas económicas, materiales y humanas.

Por lo cual, en esta investigación, se realizó un análisis del estado cognitivo de los conductores dentro del simulador de manejo conocido como "City Car Driving", utilizando el dispositivo de electroencefalografía (EEG) Emotiv Insight para la recolección de información y posterior análisis de datos.

Bajo la realización de diversas tomas de datos, en múltiples participantes, se consideró un análisis utilizando como modelo las condiciones de tráfico ligero y tráfico pesado, con los cuales se estudió el cambio sobre las ondas cerebrales de los automovilistas al inicio de su conducción, al final y durante eventos de influencia.

De lo cual se obtuvo como resultado el aumento en las ondas cerebrales Theta y Alpha, lo cual según trabajos como el de Zhang [1], nos comentan que es una evidencia de presencia de un estado de fatiga en los operadores de transporte, asociado mayormente a un estado de cansancio y enojo.

PALABRAS CLAVE: Automovilista, Fatiga en los Conductores, Ondas Cerebrales, Seguridad Vial, Electroencefalograma (EEG).



Colaboración

Leonardo Alberto Alanís Castro; Ana Isela García Acosta; Jorge de la Riva Rodríguez, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

ABSTRACT: Neuro ergonomics has had an exponential growth in recent years, due to the need to know the impact on the state of mind of workers, this according to the activities that they develop in multiple workspaces.

One of the areas that is gaining importance is transportation, which sees a continuous effect on drivers, due to the fact that they present an inconvenient or deficient mental state, which ends up causing several incidents where there are economic, material and human losses.

Therefore, in this research, an analysis of the cognitive state of drivers within the driving simulator known as "City Car Driving" was carried out, using the Emotiv Insight electroencephalography (EEG) device for the collection of information and subsequent data analysis.

Under the realization of various data collection, in multiple participants, an analysis was considered using as a model the conditions of light traffic and heavy traffic, with which the change on the brain waves of motorists at the beginning of their driving, at the end and during influencing events was studied.

The result was an increase in Theta and Alpha brain waves, which according to works such as that of Zhang [1], is evidence of the presence of a state of fatigue in transport operators, mostly associated with a state of tiredness and anger.

KEYWORDS: Driver, Driver Fatigue, Brainwaves, Road Safety, Electroencephalogram (EEG).

INTRODUCCIÓN

La ergonomía permite facilitar el desarrollo de las actividades laborales en una empresa en condiciones adecuadas, para ayudar al empleado a prevenir lesiones físicas, así como coadyuva en la optimización de los procesos para que estos sean más fáciles de realizar ante los diferentes trabajadores que se desempeñen en dichas tareas, según Saravia [2].

Derivado de la ergonomía, aparece el concepto de la neuroergonomía, la cual según Correa [3], es el estudio del comportamiento de la mente humana y su relación con las actividades que desempeñan las personas, en la cual se estudian las ondas cerebrales y los estados cognitivos de los trabajadores, buscando no solo encontrar riesgos físicos, sino también mentales que puedan afectar al trabajador, como lo son la fatiga mental, el sueño, estrés, molestia, enojo, carga mental, entre otros.

En la actualidad, existe un alto grado de accidentes viales causados por conductores de vehículos, que se encuentran en un estado mental inconveniente, como lo es el cansancio, el enojo, la somnolencia o la fatiga, que tiene como consecuencia la inhibición de las facultades mentales para la toma de decisiones, lo cual se nos ejemplifica en el trabajo realizado por Hu, & Wang [4], en el cual se realizó un estudio mediante un simulador de manejo e identifico los factores de fatiga en los conductores.

Kong et. al [5], desarrollaron un modelo el cual nos muestran el estudio de las ondas cerebrales mediante un equipo EEG que mide el cansancio y somnolencia en participantes que manejan dentro de un videojuego y que deben de estar atentos a una pantalla donde se presenta una "x", requiriendo que opriman un botón, generando datos sobre el nivel de respuesta, permitiendo analizar cómo se ve afectada la persona a medida que se genera el cansancio. En consecuencia, se asoció el aumento en las bandas Delta, Tetha, Alpha y la reducción de Beta, como parte de la presencia de fatiga.

Otros autores, como Zhang [6], refuerzan estos modelos de estudio del área de autotransporte, pero de una manera más formal, ya que estudian mediante un sistema EEG de 8 electrodos a conductores que manejan en tramos largos de entrega, y donde generan un sistema de aviso para que pueda detenerse el vehículo de manera remota, ante la presencia de un estado inconveniente del trabajador. El cual nos presenta que existe un aumento de la onda cerebral Theta y Alpha durante un estado de somnolencia, así como también una disminución de la señal Beta para esta misma condición.

Estos estudios antes mencionados están realizados en la zona de Asia y Europa, con las cuales ellos

generan un modelo de comprobación de sus datos y no se ha encontrado en la revisión de literatura mucha investigación sobre la aplicación de la Neuroergonomía en el área de transporte para zonas como México y Latinoamérica. Por lo cual la generación del presente proyecto nos da indicios para poder implementar un estudio a mayor profundidad en el futuro.

Así pues, el autor Fithriyyah [7] nos habla de la fatiga cognitiva a causa del trabajo monótono durante largos periodos de tiempo, lo que produce un deterioro en el rendimiento de los trabajadores. Por lo tanto, el trabajo de un conductor se relaciona con una actividad que puede requerir desde minutos hasta horas de estar sentado realizando una misma actividad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

Primeramente, la investigación se realizó conforme al método científico experimental, en el cual se establece mediante el proceso de observación, planteamiento del problema, hipótesis, experimentación, análisis y conclusión.

De esta manera, se establecieron los pasos a desarrollar del presente experimento, los cuales están representados en la Figura 1.

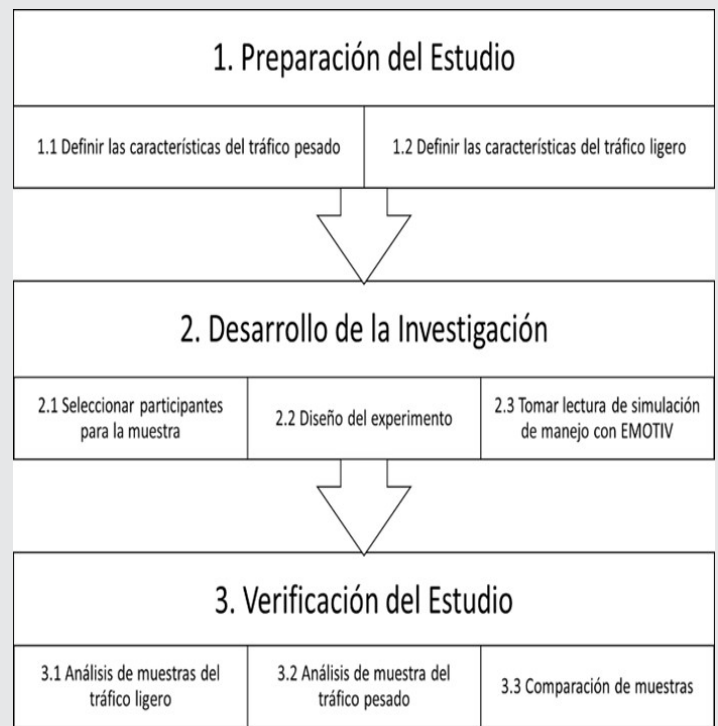


Figura 1. Diagrama de la Metodología utilizada en el experimento.

Fuente: Elaboración propia.

La metodología seleccionada se establece a partir de la necesidad de crear las condiciones de tráfico necesarias para implementar y desarrollar la investigación de una manera factible.

El estudio en cuestión, está basado en la aplicación de la neuroergonomía en diferentes condiciones laborales de los automovilistas. Conforme a una simulación de manejo con un software especializado y un seguimiento mediante un equipo de electroencefalografía, de este modo, analizar los cambios cognitivos en las personas en el área de transporte.

Permitiendo de esta manera el lograr obtener y analizar datos, que permitan identificar la existencia de la fatiga en los conductores, asociado a un bajo rendimiento laboral.

Diseño del estudio

Inicialmente, definimos la condición del tráfico pesado y ligero, como estándar de medida para el estudio, las cuales según Aporte & Moreno [8], se considera al tráfico pesado dentro del estándar de hora pico u horario con alto grado de congestión vehicular, así como al tráfico ligero lo asocia con un horario de flujo libre y bajo nivel de tránsito vehicular teniendo una amplia facilidad de libertad de movilidad.

De los cuales se estableció en el presente experimento al tráfico pesado, como un espacio donde hay un alto grado de tráfico vial, existe una alta presencia de movimiento peatonal y donde se extienden las horas de traslado por la dificultad de circulación, lo cual se asocia con las horas pico, así como se muestra en la Figura 2.

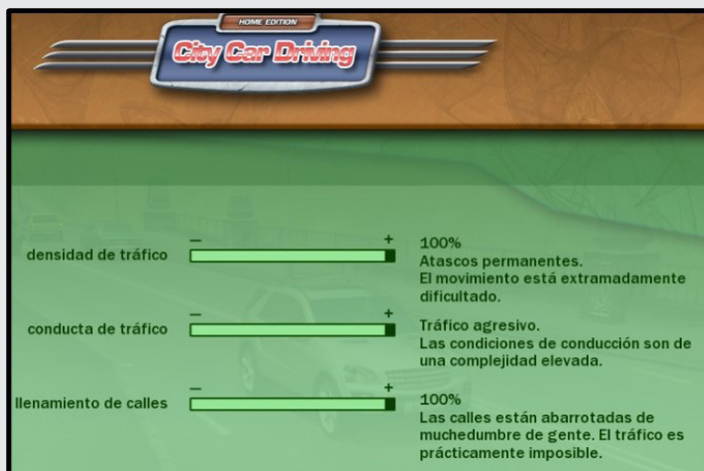


Figura 3. Pantalla de selección para el nivel de tráfico pesado. Fuente: Elaboración propia.

Por el contrario el tráfico ligero, es asociado dentro del estudio como un espacio de bajo flujo vial, con facilidad de movimiento y traslado, asociado a un bajo flujo de movimiento peatonal, el cual puede ver en la Figura 3.

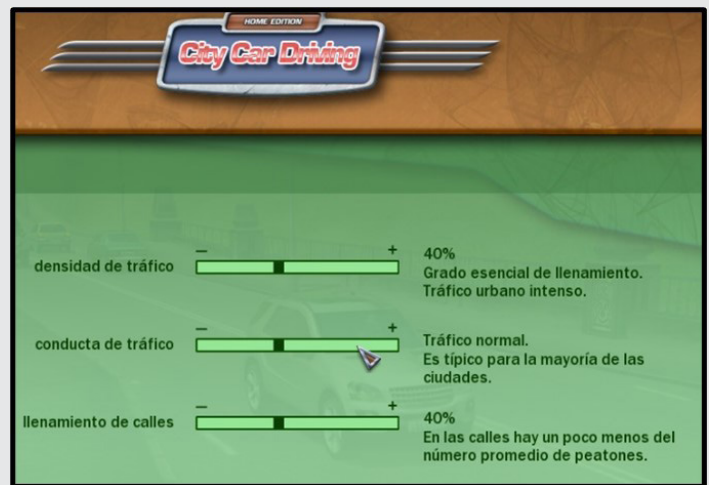


Figura 4. Pantalla de selección para el nivel de tráfico ligero. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo el estándar de tráfico para el simulador, se seleccionan los participantes, de los cuales se estableció que no deberían de tener alguna condición mental que afecte los resultados, además de no contar con adicciones frecuentes, como lo es fumar, consumir drogas o el uso de estupefacientes, dicha información se archivó para necesidad de seguimiento al proceso, como se muestra en la Figura 4.

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 4	
Edad:	19 años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:	1 mes	
Que tipo de vehiculo maneja:		
Trasmision manual:	SI	NO
Trasmision automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de transito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

Figura 4. Ejemplo de evaluación realizada al participante. Fuente: Elaboración propia.

Después de esto, se estableció que los participantes deberían haber tenido un conocimiento previo sobre conducción de un automóvil, así como preferentemente contar con su licencia de conducir y tener una edad en el rango de 19 a 25 años.

Para comenzar, a los participantes se les informó que el estudio se llevaría a cabo en una simulación de manejo, que tendría una duración de 30 minutos, llevando en todo momento el dispositivo EEG Emotiv Insight (Figura 5), el cual recolecta los datos correspondientes a las ondas cerebrales.



Figura 5. Casco Emotiv Insight.
Fuente: <https://www.emotiv.com>.

Una vez definidos los puntos anteriores, se dio inicio con los estudios de manera presencial en el laboratorio de ergonomía, en el departamento de posgrado en el Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Juárez.

Conforme a lo anterior, también se les dio un entrenamiento a los participantes sobre el uso del equipo, el funcionamiento del simulador y cuáles son las concesiones permitidas para el uso del dispositivo de EEG, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Entrenamiento de aspirantes en el simulador de manejo.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, cada uno de los participantes realizó tres repeticiones en tráfico ligero y tres repeticiones en tráfico pesado, las cuales estuvieron distribuidas de manera aleatoria en diversos días y horarios.

Cada simulación fue estudiada de manera individual para reconocer los parámetros de interés, como lo es su estado inicial, en el cual visualizamos que tan relajado se encuentra la persona antes de empezar con el experimento.

Finalmente, se evaluó el estado final del participante, en comparación con el estado de inicio, para reconocer que tanto cambiaron las ondas cerebrales, también se analizaron eventos específicos al momento de estar manejando. Por ejemplo, al momento de chocar, pasarse un semáforo o evitar atropellar un peatón, esto debido a que los efectos de sobreponerse a un evento similar puede provocar que la persona se mantenga en un estado emocional alterado, dichas observaciones se recopilaron en un formato de seguimiento, como el que se muestra en la Figura 7.

Reporte		
Nombre	Participante 11	
Supervisado	Revisor 1	
Número de practica	#1 Tráfico ligero	
Presión sanguínea	Inicial:70 Final: 80	
Fecha	Observación	Comentario
Min 1		El participante tuvo problemas con la aleatoriedad del simulador, debido a que los vehículos y peatones se cruzaban sin previo aviso.
Min 2	Invadío carril contrario	
Min 3	Hizo alto en lugar indevido	
Min 4	No marco direccional y condujo a exceso de velocidad	
Min 5		
Min 6		
Min 7	Manejo a exceso de velocidad	
Min 8		
Min 9		
Min 10		
Min 11		
Min 12		
Min 13	Se paso luz roja y golpeo un peaton	
Min 14		
Min 15		
Min 16		
Min 17	Frenado brusco	
Min 18	Choco un vehiculo	
Min 19		
Min 20		
Min 21		
Min 22	Se subio a la banqueta al girar	
Min 23		
Min 24		
Min 25	Frenado brusco e invasión de carril	
Min 26	Frenado brusco al atravesarse un peaton	
Min 27		
Min 28	Choco un vehiculo e invasión de carril	
Min 29		
Min 30		

Figura 7. Formato de seguimiento con identificación de sucesos. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Para terminar, una vez realizada la recopilación de la información tanto escrita como cognitivamente. Se analizaron los datos obtenidos para identificar las similitudes y diferencias de los estados cognitivos encontrados.

En la Figuras 8 y 9, se nos muestra el estado inicial de un participante tomado al azar de la muestra, en el cual podemos observar el comportamiento de las ondas cerebrales en un estado de relajación antes de iniciar con el experimento, donde se observa un estado de descanso representado en el valor de la onda Theta y Alpha.

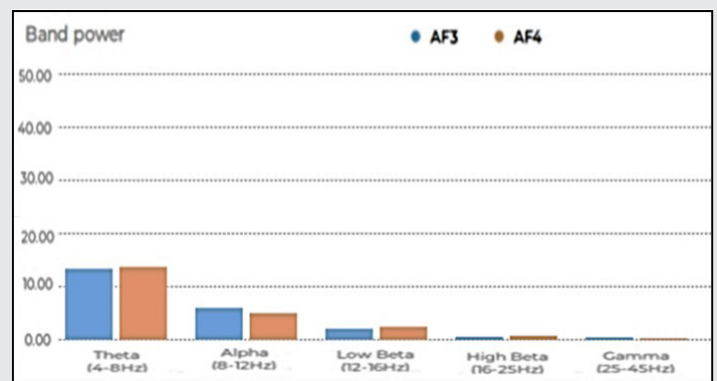


Figura 8. Valores de potencia de onda cerebral del participante 11 en la modalidad de tráfico ligero al iniciar el experimentosos. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se realizó un análisis de los eventos ocurridos, como por ejemplo que se invada el carril en el cual se va circulando, como se puede observar en la Figuras 12 y 13.

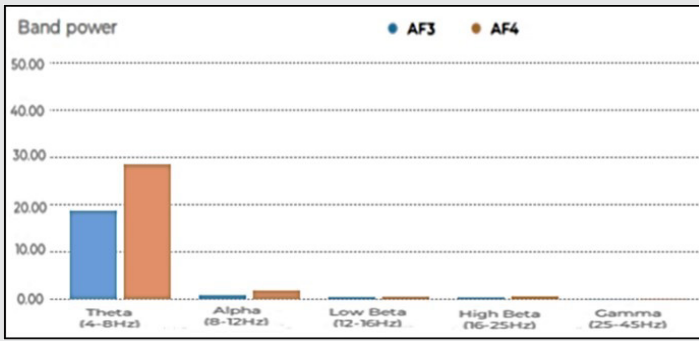


Figura 9. Valores de potencia de onda cerebral del participante 11 en la modalidad de tráfico ligero al iniciar el experimento. Fuente: Elaboración propia.

Estos datos se compararon con el estado final para reconocer si existió un cambio en el estado cognitivo de la persona, y si esto se asocia con los datos establecidos por diversos autores, como He [9], los cuales nos dicen que un aumento de la onda Theta y la onda Alpha, aunado con la reducción de beta, es una evidencia de la aparición de fatiga en la persona.

De igual manera, el estudio permite comparar el estado cognitivo del mismo participante, conforme al estado final después de un estudio de 30 minutos de manejo, permitiendo reconocer las diferencias de cambio en las ondas cerebrales, en las cuales se ve una disminución de Theta y Alpha conforme al estado inicial, como se muestra en la Figura 10 y 11.

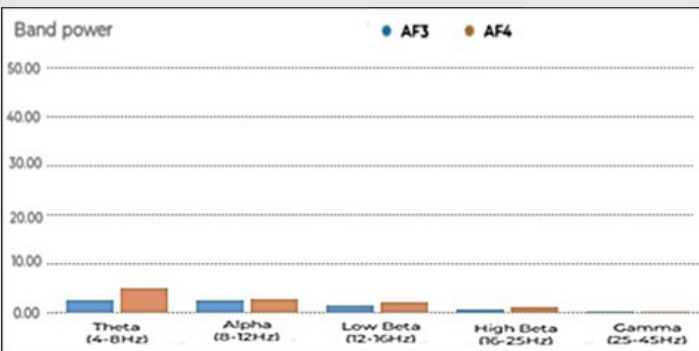


Figura 10. Valores de potencia de onda cerebral del participante 11 en la modalidad de tráfico ligero al finalizar el experimento. Fuente: Elaboración propia.

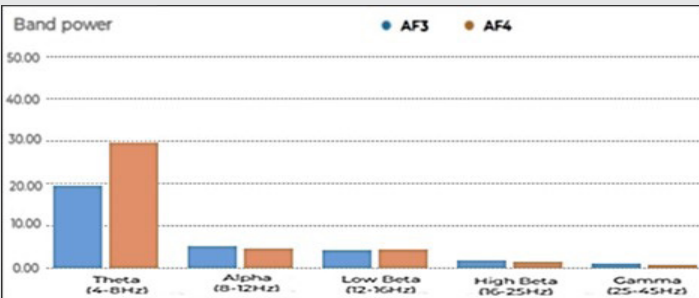


Figura 11. Valores de potencia de onda cerebral del participante 11 en la modalidad de tráfico ligero al finalizar el experimento. Fuente: Elaboración propia.

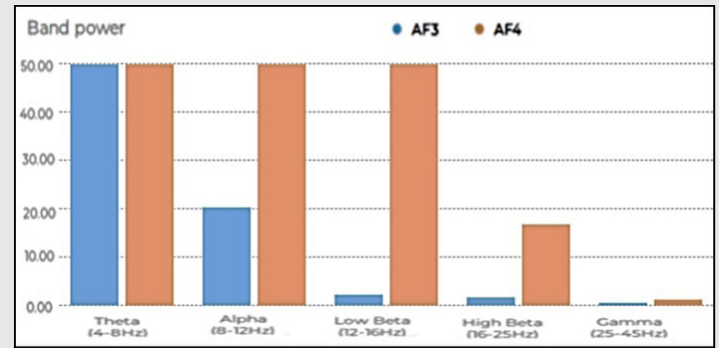


Figura 12. Valores de potencia de onda cerebral del participante 11 en la modalidad de tráfico ligero en el evento de invasión de carril. Fuente: Elaboración propia.

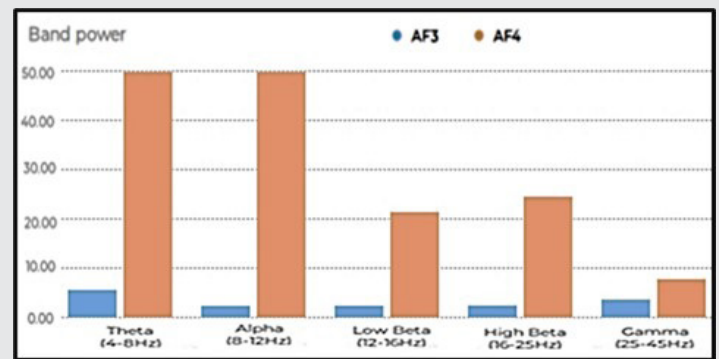


Figura 13. Valores de potencia de onda cerebral del participante 11 en la modalidad de tráfico pesado en el evento de invasión de carril. Fuente: Elaboración propia.

Esto nos da un panorama del comportamiento de las ondas cerebrales y el estado cognitivo del participante, en donde se puede observar el incremento de la onda Theta y Alpha en comparación del estado inicial, provocado por una situación no controlable.

Aunado al estudio de los gráficos de desempeño de estado cognitivo de las personas, también se evaluaron las gráficas de desempeño del estado cognitivo, donde se identificó aumento o disminución pronunciada en la recta de valor.

Para encontrar el momento de interés en el tiempo de evaluación, se analizó el gráfico de desempeño, donde se identifican las áreas de compromiso (Engagement), excitación (Excitement), enfoque (Focus), interés (Interest), relajación (Relaxation) y estrés (Stress), como se muestra en la Figura 14.

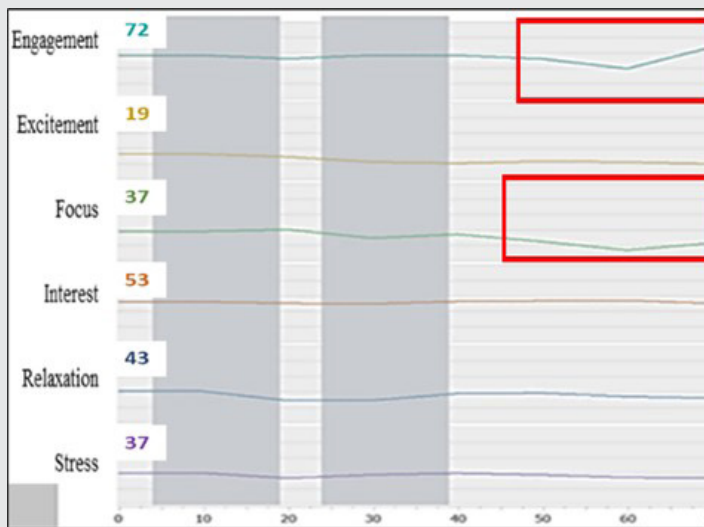


Figura 14. Valores de potencia de onda cerebral del participante 11 en la modalidad de tráfico pesado en el evento de invasión de carril.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del experimento muestran un aumento en el nivel de actividad cerebral de los múltiples participantes, dentro del área del lóbulo frontal, en comparación con las áreas temporal y parietal.

En síntesis, se encontró que en la mayor parte de los casos se presentó un aumento en el comportamiento de la onda cerebral Theta y alpha en la modalidad de tráfico ligero de manera significativa conforme al estado normal, mientras que gamma no mostró aumento.

En comparación con la modalidad de tráfico pesado, se puede visualizar un aumento en la onda Theta, con una reducción de la presencia de la onda beta en el área frontal, el cual está fuertemente relacionado con un estado de fatiga mental.

Los métricos de desempeño obtenidos sobre los estados cognitivos de los diversos participantes, nos permitieron realizar la comparación de las distintas modalidades de tráfico, mostraron cambios representativos en el grado de compromiso y enfoque de los participantes, presentando también un aumento significativo durante sucesos o eventos relevantes; también en la modalidad de tráfico pesado, hubo una disminución respecto al estado de excitación y relajación, al necesitarse un mayor nivel de atención.

CONCLUSIONES

Se define a la fatiga como un estado que altera las capacidades humanas. Respecto a lo que se obtuvo del proyecto, se pudo identificar que sí existe un aumento en la actividad de las ondas Theta y Alpha, las cuales están asociadas a la fatiga, según lo establecido por Zhang [1].

El aumento de la onda Theta, podemos establecer que se presenta un estado de somnolencia o cansancio, el cual se produjo en algunos participantes.

De acuerdo con Reyes [11], la onda gamma se asocia con una actividad neuronal compleja, donde hay un desgaste psicológico y mental, el cual provoca la pérdida de atención y por ende llega a influir en la fatiga, ya que la persona al intentar evitar la somnolencia aumenta su nivel de atención para no dormirse.

En conclusión, existe evidencia de la presencia de fatiga, debido al aumento de la presencia de la onda cerebral Alpha y Theta, que en conjunto con la presencia de la onda gamma, se puede establecer la existencia de un desgaste mental generado por la actividad y el entorno en que se desarrolla la actividad de manejo, lo cual nos da un panorama de la existencia de la fatiga del operario.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial al Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez y a su departamento de posgrado de investigación, por el apoyo dado conforme a la infraestructura y personal de apoyo requeridos para el funcionamiento del proyecto.

Así también, agradezco el apoyo brindado por parte de CONAHCYT, por el apoyo económico que se me dio para la realización de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Zhang, Z., Luo, D. y Rasim, Y., Li, Y., Meng, G., Xu, L. & Wang, C. (2016). *A Vehicle Active Safety Model: Vehicle Speed Control Based on Driver Vigilance Detection Using Wearable EEG and Sparse Representation*. China: Editorial MDPI.
- [2] Saravia, M. (2006). *Ergonomía de concepción: Su aplicación al diseño y otros procesos proyectuales*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- [3] Correa, Á. (2018). *Neuroergonomía: una ciencia sobre el cerebro y la comodidad*. Granada: Universidad de Granada.
- [4] Hu, J. & Wang, P. (2017). *Noise Robustness Analysis of Performance for EEG-Based Driver Fatigue Detection Using Different Entropy Feature Sets*. 19(8), 385-414.
- [5] Kong, W., Lin, W., Babiloni, F., Hu, S. & Borghini, G. (2015). *Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network*. China/Italia: Editorial MDPI.
- [6] Zhang, Z., Luo, D., Rasim, Y., Li, Y., Meng, G., Xu, J. & Wang, C. (2016). *A Vehicle Active Safety*

Model: Vehicle Speed Control Based on Driver Vigilance Detection Using Wearable EEG and Sparse Representation. China: Editorial MDPI.

[7] Fithriyyah, H., Yulianti, E. & Freddy, D. (2020). *Characterization of Individual Alpha Frequency of EEG Signals as an Indicator of Cognitive Fatigue. Journal of Physics: Conference Series, 1505(012068).*

[8] He, S., Chen, L. & Yue, M. (2018). *Reliability Analysis of Driving Behaviour in Road Traffic System Considering Synchronization of Neural Activity. NeuroQuantology, 16(4), 62-68.*

[9] Aporte, A. & Moreno, J. (2017). *Autómatas celulares y su aplicación a la modelación del tráfico automotor en la ciudad de Caracas. Tekhne, 5-15.*

[10] Minguillon, J., Lopez, M. & Pelayo F. (2016). *Stress Assessment by Prefrontal Relative Gamma. Frontiers in Computational Neuroscience.*

[11] Reyes, A. (2013). *Interfaz cerebro computador mediante la clasificación de señales electroencefalográficas. Facultad de Ingeniería Pontifica, Universidad Javeriana.*

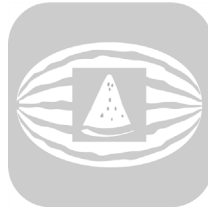




Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Evaluación de efecto de secado por ventana de refractancia en mesocarpio de sandía



Colaboración

Karla Yoali Sánchez Andrade; Rosalía Cerecero Enríquez, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba; José Manuel Tejero Andrade Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz; Leticia López Zamora, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2022

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: La sandía es un fruto comúnmente consumido a nivel mundial, con aporte nutricional en vitaminas, minerales, polifenoles y carotenoides en el endocarpio y mesocarpio, este último desperdiciándose al no considerarse para consumo humano en México, donde un tercio de los alimentos producidos son desechados [1]. Dado lo anterior, en este trabajo se propone, evaluar el efecto del secado por ventana de refractancia (VR) del mesocarpio de sandía, mediante colorimetría, espectrofotometría FTIR y difusividad efectiva. El secado por VR fue a 65,75,85°C y de 3,5,7 mm de espesor de rodaja.

La retención de compuestos como polifenoles fue comprobada a través del FT-IR medio donde destacan picos en regiones de 3800-3200 cm^{-1} . Los coeficientes de difusividad efectiva promedio de 14.9075×10^{-10} a $4.6006 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, siendo efecto del incremento de temperatura aplicado durante el secado.

PALABRAS CLAVE: difusividad efectiva, FTIR, mesocarpio, sandía, secado por ventana de refractancia.

ABSTRACT: Watermelon is a fruit commonly consumed worldwide, with nutritional contribution in vitamins, minerals, polyphenols and carotenoids in the endocarp and mesocarp, the latter being wasted because it is not considered for human consumption in Mexico, where a third of the food produced is discarded [1]. Therefore, this work proposes to evaluate the effect of refractance window drying (RWD) of watermelon mesocarp through colorimetry, FTIR spectrophotometry and effective diffusivity. RW drying at 65,75,85°C and 3,5,7 mm slice thickness.

The retention of compounds such as polyphenols was tested through medium FT-IR where peaks in regions of 3800-3200 cm^{-1} stand out. The average effective diffusivity coefficients ranged from 14.9075×10^{-10} to $4.6006 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, being the effect of the temperature increase applied during drying.

KEYWORDS: drying window refractance, effective diffusivity, FTIR, rind, watermelon.

INTRODUCCIÓN

La FAO (2019), reportó una pérdida del 11.6% en alimentos en América Latina y el Caribe, desde la cosecha hasta el consumo, donde las frutas y hortalizas representan 21.6% de esas pérdidas [2], por ello, existe una amplia variedad de métodos para la conservación de estos alimentos, como el secado, que consiste en la remoción del conte-

nido de agua a través de la aplicación de calor. De los diferentes tipos de secados, destaca el secado de ventana de refractancia (RW, por sus siglas en inglés), el cual emplea los tres mecanismos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación). A diferencia de otros métodos, requiere menor tiempo de secado y aporta una mayor preservación del color, olor y sabor en el deshidratado, además de retener compuestos termosensibles como los polifenoles. En el secado se ven implicados los coeficientes termodinámicos como la difusividad efectiva, que influye en el procesamiento y estabilidad de los alimentos al involucrar interacciones de parámetros como temperatura y contenido de agua [3].

En el presente trabajo, se realizó la caracterización del mesocarpio de sandía, obteniendo las cinéticas de secado en ventana de refractancia, coeficientes termodinámicos y análisis mediante FT-IR para corroborar la retención de compuestos orgánicos después del secado.

MATERIAL Y MÉTODOS

La sandía fue obtenida en el Mercado Zapata de la ciudad de Orizaba, a posteriori, sanitizada y el mesocarpio fue licuado al vacío (maquina Ozen HB300). El análisis de color mediante el colorímetro para sólidos HunterLab MiniScan XE Plus, cuyos resultados fueron capturados mediante Universal Software versión 4.10, usando la ecuación (1), (2) y (3), para L, a y b, junto con ΔE , con la ecuación (4).

$$\Delta L = L_{inicial} - L_{final} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\Delta a = a_{inicial} - a_{final} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\Delta b = b_{inicial} - b_{final} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

L = luminosidad

a = coordenadas rojo/verde

b = coordenadas amarillo/azul

La pulpa se colocó en forma circular para espesores de 3, 5 y 7 mm y, se deshidrató mediante radiación infrarroja del agua a 85, 75 y 65°C, depositados sobre una película de Mylar. A fin de mejorar el proceso se añadió una cabina de metacrilato con extractores en ambas paredes laterales, esto para reducir los tiempos del secado (véase Figura 1). Todos los ensayos experimentales se realizaron por triplicado, se presentan resultados promedio.

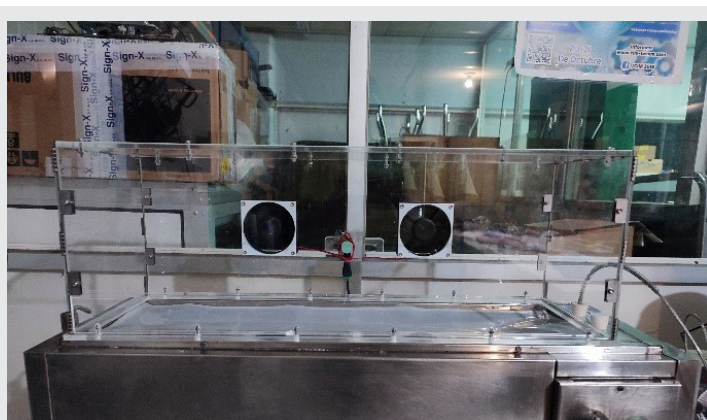


Figura 1. Secador de ventana de refractancia.

Fuente: Elaboración propia.

Las cinéticas de secado se utilizaron para el cálculo de proporciones de humedad (MR) en las muestras, de acuerdo con la ecuación (5):

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

M = contenido de humedad de la pulpa de mesocarpio de sandía

M_{eq} = humedad en equilibrio en el mesocarpio de sandía.

M_i = humedad inicial del mesocarpio de sandía.

En el software Minitab 2018, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con un diseño 2^3 , para determinar si variables como la temperatura o espesor, son significativos para el proceso.

Coeficientes de transferencia

Coeficientes de la energía de activación, fue determinada a partir de la ecuación de Arrhenius (6), la cual describe la relación de la difusividad efectiva y temperaturas de secado:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{R(T_a - 273.15)}\right) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

D_0 = factor pre exponencial

E_a = energía de activación (kJ/mol)

R = constante de los gases ideales (8.314 kJ/mol•K)

T_a = temperatura (K).

La difusividad efectiva fue calculada con la ecuación (7):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{D_{eff} t}{L^2}\right) \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

L = espesor de las muestras de pulpa (mm)

t = tiempo (min).

Espectrofotometría por Infrarrojo por Transformada de Fourier

Se utilizó el FT-IR Nicolet iS5 a temperatura de 20°C, cuyo rango de número de onda de 400-4000 cm^{-1} . El análisis del espectro fue realizado con el software Thermo Scientific OMNIC en muestras

secas de mesocarpio de sandía, las cuales fueron acondicionadas con 0.05 g de KBr y sinterizadas con una prensa.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los resultados de colorimetría de la pulpa de mesocarpio de sandía en fresco y en muestra deshidratada.

La luminosidad (L) incrementa con la aplicación de calor, coincidiendo con Nasir et al. (2020) con un parámetro L de 57.57, causado por una posible reacción de Maillard al tratamiento térmico, así mismo, se observa disminución en las coordenadas a y b, indicando tonalidades amarillas y marrones [4], difiriendo de la tonalidad verde inicial (indicado por la coordenada b).

Tabla 1. Colorimetría de mesocarpio de sandía por secado VR.

Medición	L	a	b	ΔE
Natural	39.23	-0.85	6.14	-
65°C	24.46	1.79	6.57	16.55
75°C	44.38	0.54	12.89	37.18
85°C	57.76	-0.82	11.42	49.70

Fuente: Elaboración propia.

Cinéticas de secado

Considerando la pérdida de humedad contra tiempo, se muestra la Figura 2 esta relación considerando al espesor de 3 mm; se observa que las muestras sometidas a 75 y 65°C mantienen un mismo comportamiento ante un periodo de velocidad decreciente en 60 min, en comparación a muestras a 85°C al reducir 50% del tiempo, además de obtener humedad promedio de 0.0414 g agua/g producto húmedo, inferior al obtenido en los otros experimentos (0.1526 y 0.1555 g agua/g producto húmedo, respectivamente) en el mismo tiempo. Por otro lado, se destaca un mejor ajuste lineal en las muestras a 85°C con un R² promedio de 83.98.

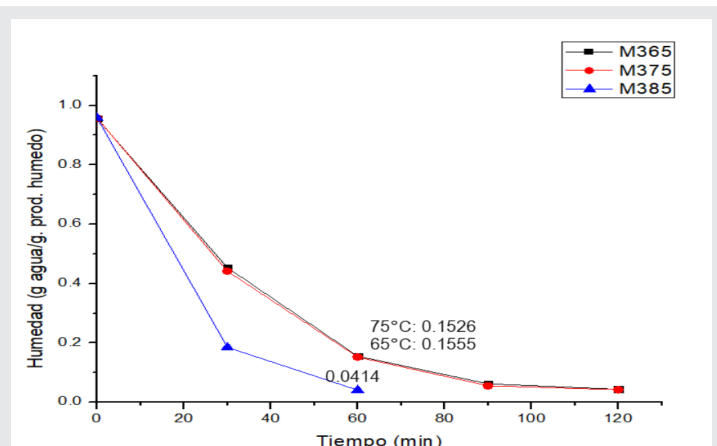


Figura 2. Cinética de secado VR en mesocarpio con espesor de 3 mm.

Fuente: Elaboración propia.

Coeficientes

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes para las muestras de mesocarpio de sandía deshidratadas, v. gr., la difusividad efectiva, oscilando entre valores promedio de 14.9075×10^{-10} a 4.6006×10^{-10} m²/s en secado por ventana de refractancia, coincidiendo con Cambuy-Siqueira et al. (2020) y Leite et al. (2022), con difusividades de 7.97×10^{-10} a 1.27585×10^{-9} m²/s en secado solar con temperaturas de 40 a 60°C en sandía [5,6], con esto se comprueba la dependencia de temperatura en la difusividad efectiva, además del incremento de la difusividad ante la disminución de la humedad en el mesocarpio [7].

Por otro lado, la energía de activación promedio en mesocarpio rondó en 12.8075 a 13.9012 kJ/mol. Esto concuerda con Cambuy-Siqueira et al. (2020) y Hoque y Iqbal (2015) que obtuvieron valores de 10.55 a 14.40 kJ/mol [5, 8]. En alimentos, la energía de activación suele ser de 12.7 a 110 kJ mol⁻¹ [6], donde, rangos bajos indican un producto térmicamente estable [9].

Tabla 2. Difusividad efectiva y E_a de mesocarpio de sandía por VR.

Exp.	D _{eff} (m ² /s)	E _a (kJ/mol)
85°C	14.9075×10^{-10}	13.9012
75°C	9.8321×10^{-10}	13.0219
65°C	4.6006×10^{-10}	12.8075

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de ANOVA para la difusividad efectiva indicó un P-valor significativo de 0.003 en el factor de temperatura, indicando la influencia de este parámetro para la deshidratación del mesocarpio.

Espectroscopia FTIR

En ANEXO A, se pueden apreciar ondas prominentes en diversas regiones, destacando valores de 3776.92, 3451.51, 3420.81 y 3374.78 cm⁻¹, de acuerdo con autores Kumar-Patle et al. (2020) y Bichi et al. (2022), señalan que ondas en la región de 3700-3200 cm⁻¹, pertenecen grupos funcionales O-H como alcoholes, ácidos carboxílicos, nitratos [10,11], indicando la presencia de fenoles en la muestra.

Picos intensos alrededor de la región mencionada también puede indicar la presencia de celulosa, pectina y lignina [12,13]. Otro compuesto de importancia es el caroteno, y de acuerdo con Triveide et al. (2017), picos en la región de 1400-1500 cm⁻¹ son usualmente causados por la flexión y vibración de metileno -CH₂, asociado los pigmentos de licopeno [14].

CONCLUSIONES

Las muestras de mesocarpio de sandía con espesor de 3 mm muestran una reducción del 50% a la temperatura más alta, con R² promedio de 83.98.

La difusividad efectiva promedio obtenida fue de 14.9075×10^{-10} a 4.6006×10^{-10} . Mediante FT-IR se comprobó la presencia de compuestos orgánicos como polifenoles y licopeno después del tratamiento térmico en las muestras.

El mesocarpio de sandía deshidratado con polifenoles y carotenoides puede aportar a la dieta y enriquecer otros alimentos como son bebidas, snack, alimentos sólidos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONAHCYT por el apoyo brindado al becario con CVU 1180050.

BIBLIOGRAFÍA

[1] México. Procuraduría Federal del Consumidor. (2022). Evita el desperdicio de alimentos. Consumidor. (2022). Evita el desperdicio de alimentos.

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

[3] Castro Arata, D.H., Otero Nole, K., Llamoca Domínguez, E. (2022, Enero). Estudio de los parámetros cinéticos en el secado de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 2 (1). Consultada el 7 de enero de 2022. <https://doi.org/10.54353/riip.v2i1.e005>.

[4] Nasir, H., Allai, F., Gull, A., Ahmad-Ganaie, T., Azad, Z. (2020). Effect of pre-treatments on desirable qualities attributes of watermelon rind based candy, *Journal Postharvest Technology*, 8 (1), 38-52.

[5] Cambuy-Siqueira, V., Acácio-Mabasso, G., Darci-Quequeto, W., Ramos da Silva, C., Siqueira-Martins, E., Pedroza-Isquierdo, E. (2020). Drying kinetics and effective diffusion of Watermelon seeds. *Research, Society and Development*, 9(4), 1-17.

[6] Leite, D. D. F., Queiroz, A. J. M., de Figueirêdo, R. M. F., dos Santos, F. S., Silva S. N. & Santos, D. C. (2022). Mathematical modeling and thermodynamic properties in the drying of citron watermelon seeds. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, 26 (1), 67-74.

[7] Cevoli, C., Panarese, V., Catalogne, C. & Fabbri, A. (2020). Estimation of the effective Moisture diffusivity in cake baking by the inversion of a finite element model. *Journal of Food Engineering*, 270. Consultada en abril de 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109769>.

[8] Hoque, M., Iqbal, A. (2015). Drying of Watermelon Rind and Development of Cakes from Rind Powder. *International Journal of Novel Research in Life Science*, 2 (1), 14-21.

[9] Montanuci, F., De Matos-Jorge, L., Matos-Jorge, R. (2013). Kinetic, thermodynamic properties and optimization of barley hydration. *Food Science Technology*, 33 (4), 690-698.

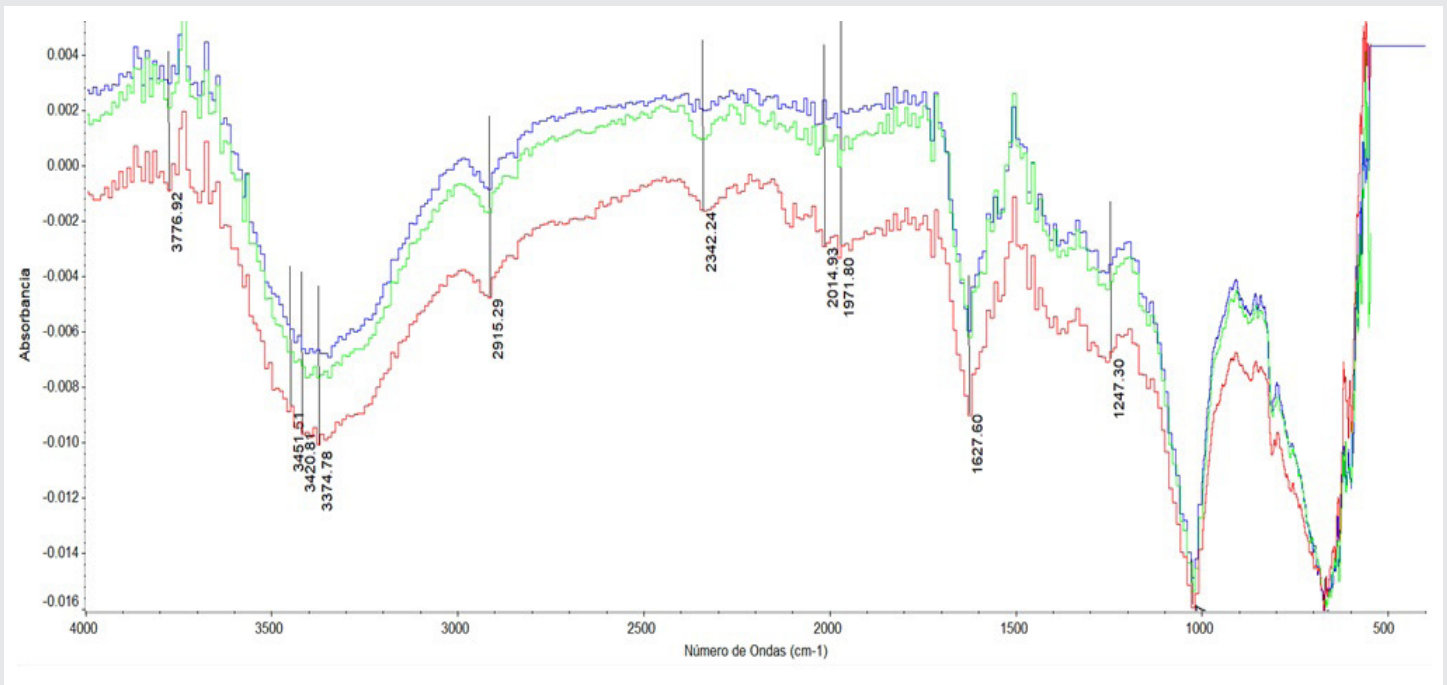
[10] Kumar-Patle, T., Shrivastava, K., Kurrey, R., Upadhy, S., Jamgde, R., Chauhan, R. (2020, Diciembre). Phytochemical screening and determination of phenolics and flavonoids in *Dillenia pentagyna* using UV-vis and FT-IR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 242. Consultada el 5 de diciembre de 2020, <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118717>.

[11] Bichi, S., Abdulmumin, Y., Abdulmumin, T., Muhammad, T., Muhammad, I., Murtala, M., Dalhatu, M., Amina, L., Sarki, S., Danjaji, H., Mustapha, R. (2022). CG-MS and FTIR Analysis of Aqueous Extract of *Citrillus lanatus* (Watermelon) Rind. *Scholars International Journal of Biochemistry*, 5 (4), 57-66.

[12] Lakshmi pathy, R., Sarada, N. (2015). Methylene blue adsorption onto native watermelon rind: batch and fixed bed column studies. *Desalination and Water Treatment*, 57 (23), 10632-10645.

[13] Zhuang, J., Li, M., Pu, Y., Ragauskas, A., Geun-Yoo, C. (2020). Observation of Potential Contaminants in Processed Biomass Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Applied Sciences*, 10 (12).

[14] Trivedi, N., Tandon, S., Dubey, A. (2017). Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) profiling of red pigment produced by *Bacillus subtilis* PD5. *African Journal of Biotechnology*, 16 (27), 1507-1512.



ANEXO A. Espectro FT-IR de mesocarpio de sandía.
Fuente: Elaboración propia.





Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Efecto de la congelación en las propiedades termodinámicas de pasta de tomate



Colaboración

Arely Cano Garay; Rosalía Cerecero Enríquez; José Manuel Tejero Andrade; Leticia López Zamora; Eusebio Bolaños Reynoso, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: El tomate (*Solanum lycopersicum*) es un alimento nutritivo que contiene agua, azúcares, vitaminas y compuestos bioactivos como el licopeno. Sin embargo, presenta pérdidas postcosechas de hasta el 50% de la producción total debido a su deterioro. [1].

El objetivo de este trabajo fue proponer la congelación de la pasta de tomate como método para conservar y extender su vida útil de anaquel. Se obtuvo pasta de tomate a partir del tomate licuado con concentraciones de 20, 25 y 30% (w/v). Las muestras se sometieron a -18°C para evaluar las propiedades termodinámicas. Durante la congelación, parámetros clave son la temperatura de congelación inicial (T_{ci}) y el tiempo requerido, el cual puede estimarse mediante la ecuación de Plank.

Ambos valores, T_{ci} y tiempo de congelación, se validaron a través de las curvas de enfriamiento de las diferentes concentraciones de pasta de tomate. Adicionalmente, se determinaron propiedades térmicas como la capacidad calorífica, densidad, conductividad y difusividad térmica utilizando correlaciones de Choi y Okos.

PALABRAS CLAVE: Pasta de tomate, congelación, propiedades termodinámicas, propiedades fisicoquímicas, condiciones de congelación.

ABSTRACT: Tomato (*Solanum lycopersicum*) is a nutritious food containing water, sugars, vitamins and bioactive compounds such as lycopene. However, it experiences post-harvest losses of up to 50% of the total production due to deterioration.

The objective of this study was to propose the freezing of tomato paste as a method to preserve and extend its shelf life. Tomato paste was obtained from liquefied tomatoes with concentrations of 20, 25 and 30% (w/v). The samples were subjected to -18°C to evaluate thermodynamic properties. Key parameters include the initial freezing temperature (T_{ci}) and the required time, which can be estimated using the Plank equation.

Both values, T_{ci} and freezing time, were validated through cooling curves for different concentrations of tomato paste. Additionally, thermal properties such as specific heat, density, conductivity and thermal diffusivity were determined using Choi and Okos correlations.

KEYWORDS: Tomato paste, freezing, thermal properties, physicochemical properties, freezing conditions

INTRODUCCIÓN

En México se desperdician anualmente 20.4 millones de toneladas de tomate (*Solanum lycopersicum*) [2]. Este alimento contiene principalmente agua, vitamina C, β -carotenos y minerales como potasio [3]. A pesar de su amplio cultivo, su vida útil suele ser corta, aproximadamente 15 días, lo que reduce su disponibilidad e incrementa el desperdicio.

Alargar la vida útil de alimentos climatéricos como el tomate representa un desafío para su aprovechamiento. Diferentes

técnicas de preservación han permitido mantenerlos frescos y naturales por más tiempo, por ejemplo los deshidratados de aceite de oliva.

La congelación garantiza un nivel equivalente de seguridad e inocuidad que la refrigeración, implica exponer el producto a temperaturas inferiores a 0°C. Este proceso inactiva las enzimas y los microorganismos, deteniendo de esta manera los procesos bioquímicos y extendiendo a vida útil del anaquel.

Los avances tecnológicos han diversificado los métodos de congelación, logrando desde ahorros en los sistemas de refrigeración hasta una mayor rapidez en el proceso.

El presente trabajo consistió en evaluar las propiedades termodinámicas de la pasta de tomate al ser sometida a procesos de congelación en un congelador convencional.

El objetivo fue caracterizar los parámetros, incluyendo el punto de congelación inicial, los tiempos necesarios para incrementar la concentración de sólidos que incluye los cristales de hielo. Además, se evaluaron propiedades fisicoquímicas después del proceso de congelación, tales como contenido de humedad, sólidos solubles totales, grados Brix y color.

MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención de la materia prima

La experimentación se llevó a cabo en el Laboratorio de Plantas Piloto del Instituto Tecnológico de Orizaba, en el Estado de Veracruz, México. Se adquirió tomate en el mercado Emiliano Zapata de dicha ciudad. Posteriormente, los frutos se lavaron y desinfectaron para luego retirar las partes no deseadas como la piel, semillas y placenta. Con la pulpa obtenida se preparó pasta de tomate mediante licuado, la cual, se almacenó en contenedores de plástico de 20 ml.

El almacenamiento en el periodo de tres meses en congelación se realizó empleando un congelador convencional a -18°C. Previo a los análisis, las muestras se descongelaron bajo refrigeración a 4°C y luego se llevaron a temperatura ambiente.

Propiedades fisicoquímicas

Se realizaron análisis sobre muestras frescas a partir de la pulpa de tomate para obtener las siguientes propiedades:

Sólidos totales

Se determinaron mediante un refractómetro marca Hanna Instruments. Previamente se calibró el equipo con 3 gotas de agua destilada a temperatura ambiente como blanco. Luego se colocaron 3 gotas de cada muestra sobre el prisma refractómetro y se registraron los valores de sólidos totales expresados en °Brix.

Porcentaje de humedad

Se pesaron 3 cápsulas de porcelana vacías y se colocaron en una estufa a 100°C durante 24, 28 y 72 h. Posteriormente, se trasladaron las cápsulas a un desecador por 2 h para enfriamiento y posteriormente pesarse. El porcentaje de humedad se calculó con la diferencia de peso entre la muestra fresca y seca.

Determinación de color

Se utilizó un colorímetro Hunter Lab ColorQuest XE. Se colocaron las muestras sobre el equipo y se capturaron los valores L*, a* y b* con el Software Universal versión 4.10 Con estos parámetros se calculó la diferencia total de color (ΔE) mediante la Ec. (1):

$$\Delta E = \sqrt{[(\Delta L)]^2 + (\Delta a)^2 + [(\Delta b)]^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde L* es la luminosidad (negro-blanco), a* es (verde-rojo) y b* (azul-amarillo).

Propiedades térmicas

En la obtención de las propiedades, a partir de la curva de congelación, se realizó midiendo la temperatura en función del tiempo (Vélez y Torres, 1994), iniciando el monitoreo con respecto a la temperatura de laboratorio.[4]

Considerando la importancia de la temperatura para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y térmicas a partir del estudio de Santes et al. (2019) [5], se determinaron tres muestras de pulpa de tomate, mezclas de agua a diferentes porcentajes de sólidos (20,25 y 30%), las cuales fueron colocadas en envases de 15 ml en forma de cilindro.

En la adquisición de datos continuos de temperatura se utilizó un multímetro Fluke modelo 289 con un termopar (Tipo J). El proceso se llevó a cabo dentro de un congelador a temperaturas hasta -18°C; se graficaron los datos obtenidos, y mediante un análisis de la curva, se determinó el punto de congelación inicial (T_{ci}), continuando a incrementar la fracción de cristales de hielo, reduciendo la fracción de agua y los sólidos de la pasta que coexisten.

La determinación empírica de las propiedades térmicas de conductividad, capacidad calorífica, difusividad térmica, se obtuvieron a partir de la tabla de coeficientes de los alimentos (Choi y Oikos, 1986) y comparando estos con los resultados experimentales. [6]. Ecuaciones (2) y (3) en función del contenido de humedad del alimento (X_a) y de la conductividad del sólido (K_s), a temperatura del laboratorio:

$$K_{tomate} = K_a X_a + K_s (1 - X_a) \quad \text{Ec.(2)}$$

$$K_{tomate} = 0.056 + 0.57 K_s \quad \text{Ec.(3)}$$

En donde K_{tomate} es la conductividad termica del alimento ($W/m^{\circ}C$), K_a corresponden la conductividad del

agua, K_s fracción sólida de pulpa de tomate es de 0.53 $W/m\ ^\circ C$, significativamente similar a $0.59\ W/m\ ^\circ C$ [7].

Para el cálculo del calor específico, se utilizó la ecuación dada por Siebel (1892) en base a los valores de humedad experimental [8].

$$Cp = 0.837 + 3.349 X_w \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde Cp es el calor específico ($J/g\ ^\circ C$) y X_w es la cantidad de agua contenida expresada en fracción, para el tomate de $3.85\ kJ/g\ ^\circ C$.

En la difusividad térmica se emplearon los valores de densidad, conductividad térmica y calor específico del alimento:

$$\alpha = \frac{k}{\rho Cp} \quad \text{Ec. (5)}$$

Cálculo para el tiempo de congelación

A partir de la determinación experimental del tiempo de congelación inicial, se realizó el siguiente cálculo mediante ecuaciones (6 y 7) dada por Orrego (2007) [9]:

$$t_c = \frac{\lambda_a \rho}{T_c - T_a} \left[\frac{P \cdot a}{h} + \frac{R \cdot a^2}{k} \right] \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\lambda_a = X_a \cdot \lambda \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde en la Ec. 6 t_c es el tiempo de congelación del alimento, ρ es la densidad del alimento sin congelar, λ_a es calor latente de congelación de alimento (kJ/Kg), a es espesor del recipiente, h es el coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2\ ^\circ C$), P y R son las constantes de Plank, k es la conductividad térmica del alimento congelado ($W/m\ ^\circ C$), T_c es la temperatura inicial de congelamiento ($^\circ C$) y T_a del medio frío ($^\circ C$). En la ec. 7, λ es el calor latente de fusión del agua ($333\ kJ/kg$), X_a fracción agua en el alimento.

RESULTADOS

Propiedades fisicoquímicas

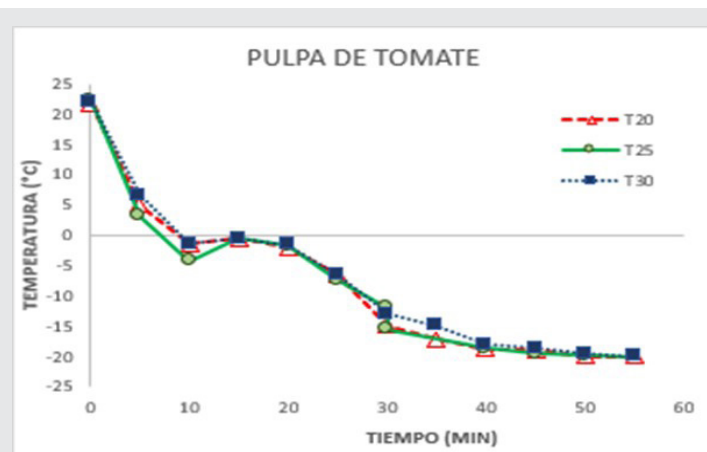
En la determinación de los sólidos totales en la pasta de tomate, se registró un valor en el rango del 4.7 al 8% ($^\circ Brix$), cifra que tiene similitud de acuerdo con Ciruelos (2008), quien señala que el contenido de sólidos en tomates varía entre 8 y 12 $^\circ Brix$. Por otro lado, Solórzano (2023), al referirse a salsa de tomate, reporta una concentración de sólidos totales de 4.68 $^\circ Brix$. [10 y 11]. Estas variaciones podrían atribuirse a diferencia a la madurez del tomate y en la cantidad de agua presente en las muestras. A la variedad de tomate al grado de madurez del fruto y a la cantidad de agua presente.

Adicionalmente, se determinaron el porcentaje de humedad y densidad de la pasta de tomate de 92% y 1.92 g/ml , antes de someterse a la congelación. Ortega et al. [12], reportaron un valor del 94.4% para el contenido de agua.

Por otro lado, Valle-Vargas et al. (2020) reportaron rangos de humedad que oscilan entre 85.27 y 95.05% en muestras frescas. Estos resultados ofrecen una perspectiva amplia sobre las variaciones en las propiedades del tomate, considerando distintas variedades [13].

Curvas de congelación

Las curvas de congelación fueron generadas mediante el monitoreo de la temperatura en los recipientes cilíndricos. En la Gráfica 1, se aprecia un descenso de los $0^\circ C$, indicando el proceso de enfriamiento de las muestras.



Gráfica 1. Curva de congelación de pasta de tomate con 20, 25 y 30% sólidos.

Fuente: Elaboración propia.

Durante este proceso, el fenómeno se replica en las muestras tratadas en términos de tiempo y temperatura. A los 10 minutos, las muestras alcanzaron su punto de congelación, incrementando la temperatura hasta el punto inicial de congelación. Este intervalo corresponde a la surfusión. Cabe destacar que con un 20% de sólidos, el punto de congelación inicial se sitúa en $-1.4 \pm 2^\circ C$.

Mediante el análisis de la curva obtenida, se terminaron los puntos de congelación de cada muestra, expresados como valores promedio. Al comparar ambas muestras, se evidencia una notable proximidad entre sus respectivos puntos de congelación.

Es relevante destacar que los alimentos con un mayor contenido de sólidos solubles, permite que haya una depresión mayor del punto de congelación.

Tiempo de congelación

Utilizando los datos recopilados de la curva experimental de congelación, se calculó el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de congelación. Este tiempo fue posteriormente comparado con los resultados obtenidos a través de la ecuación de Plank. En esta evaluación, se aprecian las propiedades experimentales previamente determinadas (Tabla 1), y se

calculó el porcentaje de error como indicador de la concordancia entre los datos experimentales y mediante la ecuación de Plank.

Tabla 1. Tiempo de congelación de pasta de tomate

Sólidos (%)	Tiempo de congelación (min)		
	Experimental	Plank	Error (%)
20	15	21.14	13.59
25	15	23.03	13.46
30	15	23.72	13.41

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas del alimento, tanto en su estado congelado, se muestran en la Tabla 2, respectivamente. Estas propiedades fueron evaluadas utilizando datos experimentales y se compararon con valores reportados.

Como menciona Telis et al. (2007), la conductividad en frutos enteros con un alto contenido de agua se ve afectada durante la congelación, donde la presencia de la fracción de agua congelada incrementa en volumen y la temperatura influyen en dicha conductividad térmica por debajo del punto de congelación [13]. Respecto al tomate, Orrego (2003) reporta valores que son comparables y cercanos a los datos obtenidos experimentalmente. Por otro lado, Geankpolis (2003) indica que la conductividad aumenta cuando hay una presencia significativa de sólidos. Wiles et al. (2020) señalan en su estudio comparativo entre la corteza y la pulpa de sandía que la corteza inhibe una mayor conductividad térmica. [14, 15 y 16].

La pasta de tomate con un 30% de sólidos exhibió el coeficiente de conductividad más alto, a comparación con el tomate que mostró una menor conductividad en la misma concentración de sólidos. Posteriormente, se llevó una comparativa de las ecuaciones empleadas (Ecs. (5) y (6)).

Tabla 2. Tiempo de congelación de pasta de tomate.

Pasta de tomate (%)	C_p kJ/g °C	ρ g/ml	α m ² /s	K (W / m°C)	k calc. (W / m°C)	Error (%)
20	2.256	1.697	2.33×10^{-7}	0.525	0.57	8.5
25	2.227	1.69	2.32×10^{-7}	0.52	0.568	9.2
30	2.19	1.683	2.31×10^{-7}	0.516	0.56	8.5

Fuente: Elaboración propia.

Cambios físicos durante la congelación

Durante el almacenamiento y a bajas temperaturas en frutos y hortalizas, se observan cambios físicos por aumento de volumen con el riesgo de daños en

estructura y tejidos. Inocente et al. (2021) señalan que el proceso de congelación en almacenamiento provoca alteraciones, incluyendo un factor de deshidratación. Este impacta negativamente al alimento con pérdida de agua y afecta la transferencia de calor. [18], si es expuesto a refrigeración. Barankevicz et al. (2015) abordan el impacto de la congelación en la composición química del fruto, señalando la influencia del porcentaje de humedad [19].

Cuando un producto se congela y almacena en condiciones específicas, experimenta cambios en color. La coloración de los alimentos, es una característica física que puede describirse con parámetros cuantificables, antes y durante los procesos de congelación. Esto facilita el cálculo de tiempo, punto de congelación y propiedades físicas para conservar el color sin provocar daño por frío. Rikasa et al. (2021) [20] señala que al exponer trozos de tomate a bajas temperaturas, hay cambios en el color, destacando la necesidad de buscar métodos que preserven los parámetros fisicoquímicos y sensoriales durante la congelación. Aunque la determinación de color no reveló cambios significativos en esta investigación debido al estado físico de las muestras (pasta), esto no debe subestimarse en futuros estudios. Sin embargo, el estado de madurez en tomate natural para pasta puede ser un indicador en cuanto a su calidad y costo.

CONCLUSIONES

En las muestras de pasta de tomate, a mayor concentración disminuyen las propiedades térmicas provocando que haya una menor transferencia de calor. En cuanto a la conductividad térmica, a menores concentraciones hay mayor conductividad por el contenido de agua presente. Por ende, las correlaciones de Cho y Oikos, permiten validar datos experimentales y esto puede ser aplicado para diferentes rangos de concentración.

El sistema por lotes de la cámara de congelación no permite una fracción de hielo y tamaño de cristal controlada. Por lo que, la capacidad para calcular con mayor precisión periodos de tiempo, el punto de congelación y validar las propiedades termodinámicas demanda un control fino de la temperatura, de velocidad de mezclado, número y formas de cuchillas para una fracción masa de hielo y tamaño de cristal controlado del sistema difásico. Sin embargo, este trabajo aporta un avance de la tecnología en la conservación de la pasta de tomate por congelación y para uso inmediato. Además, puede ser aplicado para otras pastas de hortalizas, proporcionando una base sólida para el desarrollo de estrategias de conservación más eficientes.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a CONAHCYT por el apoyo brindado al becario CVU 1180133.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Crecimiento, producción y exportación de tomate. Abril, 22, 2021. <https://www.gob.mx/siap>
- [2] Ruiz, J., Vicente, A., Montañez, R., Aguilar, C. (2012). Un tesoro perecedero em México: El tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. *Investigación y Ciencia*, 20 (54), 57-60.
- [3] Piqueras, M. (2016). Actualización en higiene alimentaria, manipulación, toxiinfecciones alimentarias y etiquetados de alimentos. 1ª Ed., *Medicina y Salud* (17-19). España.
- [4] Velez, J.F., (1994). Evaluación de propiedades físicas de frutas: Melón, papaya, plátano y sandía. *Revista información Tecnológica*, 5 (1), 39-42.
- [5] Santes, M., Villaseñor, M., Tejero, J. y Cerecero R. (2019). Retention of Phenolic Compounds in Slices of Watermelon Dried By Refractance Window. 3 (3), 28.
- [6] Singh, P. (1984). *Introduction to Food Engineering*. 4a Ed., *Food Science and Technology*, (20-25, 257-262).
- [7] Siebel, J. (1892). Specific heat of various products, *Ice Refrigeration*, 2(256).
- [8] Ciruelos, A., Carreras, R., González, C. (). Parámetros de calidad en el tomate para industria. 13 (1), 157.
- [9] Solórzano, B. (2023). Estudio potencial industrial de cinco variedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller) cultivadas en condiciones de fertilizante foliar quelatado. *Ciudad universitaria*.
- [10] Ortega-Martínez, L., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, Salcido-Ramos, B. y Manzo-Ramos, F. (2010). Efectos de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* mili) bajo condiciones de invernadero. *Revista Ximhai*, 6(3), 339-34.
- [11] Alvarado, E., Ramírez, G., Martínez, E., Piña, C., De la Cruz, B. y Chablé, F. (2019). Calidad de Fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de generaciones S2 y F4. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 7(2), 1-9.
- [12] Valle-Vargas, M., Durán-Barón, R., Quintero-Gamero, G. y Valera, R. (2020). Caracterización fisicoquímica, químico proximal, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de pulpa y corteza de sandía (*Citrullus lanatus*). *Inf. Tecn*, 31(1), 21-28.
- [13] Telis-Romero, J., Sobral, J. y Gabas, P. (2007). Punto de congelación y conductividad térmica de pulpas de frutas tropicales: Mango y papaya. *Revista internacional Propiedades de alimentos*. 10 (1), 73-84.
- [14] Orrego, C. (2003). Congelación y Liofilización de alimentos. 2ª Ed., *Ciencia y Tecnología* (49-54).
- [15] Geankpolis, C.J.(1998). *Proceso de transporte y operaciones unitarias*. 3ª Ed. University of Minnesota. (309-312).
- [16] Wiles, C., Kooklal, V., Hanseul, K. y Kitchel, J. (2020). The influence of Rind of Watermelon in The Heat Transfer Calculation. *American Society Thermal and Fluids Engineers*.
- [17] Inocente, Q., Sota, A.E. y Paz, S. (2021). Alimentos mínimamente procesados: Generalidades, procesamiento, consumo y cambios físicos, químicos y biológicos. 11 (1), 117-126.
- [18] Barankeviccz, G.B., Novello, G.B., Resende, J. y Santo, E. (2015). Características físicas e químicas da polpa de híbridos de tomateiro, durante o armazenamento congelado. *Horticultura Brasileira*, 33, 7-11.
- [19] Velasco, M., Morales, S., Rahman, ME. Y Vélez, J.F. (2007). Freezing point: Measurement data and prediction. *Properties handbook*.
- [20] Rikasa, A.M., Senarathne, Wimalisiri, K. (2022). Determination of the effect of freezing methods on the quality of frozen tomato pieces. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 41 (3), 317-322





Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Análisis costo-beneficio de humedal de tratamiento ornamental a gran escala



Colaboración

Saúl Antonio Rivera González; Luis Carlos Sandoval-Herazo; Mayerlin Sandoval-Herazo; Joaquín Sangabriel Lomelí, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: En el municipio de Nautla, Veracruz se llevó a cabo la construcción de un Humedal de Tratamiento a Gran Escala construido con financiamiento del gobierno del estado por medio de la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente.

A poco más de un año de su inauguración, en 2022, se evaluó por medio de indicadores financieros la rentabilidad económica por medio de un Costo-Beneficio. Obteniendo un Valor Presente Neto de \$1,008,094.59, una Tasa Interna de Retorno de 16.72% y un Costo/Beneficio de 1.18; por lo que se concluye que es económicamente viable.

Sin embargo, a pesar de que, en la primera proyección de rentabilidad del Humedal de Tratamiento a Gran Escala en el estado de Veracruz se obtuvieron valores positivos, se debe seguir documentando para que se divulgue que estas tecnologías alternativas son viables para resolver problemáticas reales y que pueden ser llevados de un laboratorio a reemplazar tecnologías convencionales como lo son las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

PALABRAS CLAVE: Costo-beneficio, escala real, humedal de tratamiento, indicador financiero, TIR, VPN.

ABSTRACT: In the municipality of Nautla, Veracruz, a Full-Scale treatment wetland was built with funding from the state government through the State Environmental Protection Agency.

A little more than a year after its inauguration, in 2022, the economic profitability was evaluated by means of financial indicators through a Cost-Benefit analysis. Obtaining a Net Present Value of \$1,008,094.59, an Internal Rate of Return of 16.72% and a Cost/Benefit of 1.18; therefore it is concluded that it is economically viable.

However, in spite of the fact that, in the first projection of profitability of the Full-Scale Treatment Wetland in the state of Veracruz, positive values were obtained, it is necessary to continue documenting in order to make it known that these alternative technologies are viable to solve real problems and that they can be taken from a laboratory to replace conventional technologies such as the Wastewater Treatment Plants.

KEYWORDS: Cost-Benefit, Full-Scale, Treatment Wetland, Financial Indicator, Irr, Npv.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de recursos hídricos vinculada al desarrollo urbano en todo el mundo se ha triplicado desde 1970 hasta la actualidad. Y el sector agrícola consume del 80 al 90% de agua dulce disponible [1]. En 2022 América del Norte (11%) y Asia Central (23%) han registrado los niveles de mayor extracción de agua per cápita [2] a nivel mundial. La disponibilidad del recurso hídrico varía según la región, actualmente alrededor del 25% tiene escasez económica de agua debido principalmente a la incapacidad gubernamental

y de liquidez, y no por razones de índole hidrológico [3]. Por esta razón, es necesario validar ecotecnologías que nos permitan prácticas de gestión sostenible y la reutilización de las aguas residuales formando un nuevo eslabón en la economía circular [4]. En la literatura existen muy pocos Humedales de Tratamiento (HT) a escala real [5]-[7] documentados y no han sido evaluados para su viabilidad económica, esto nos conlleva a preguntar: ¿Los HT son económicamente viables y sostenibles a lo largo de su vida útil? El objetivo de esta investigación es documentar el primer año de costos de operación del HT a escala real “La Tortuga” construido en el año 2022 y con un análisis Costo-Beneficio demostrar su rentabilidad con índices financieros.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación del sitio de estudio

El municipio de Nautla se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 20° 00' y 20° 15'N, 96° 41' y 96° 55'W; a una altitud entre 10 y 600 m sobre el nivel del mar [8]. El sitio donde se construyó el Humedal de Tratamiento “La Tortuga” con financiamiento del gobierno del estado por la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente se encuentra en las coordenadas 20°12'35.8"N 96°46'15.7"W, a una distancia de 1.35 km de la playa de Maracaibo.

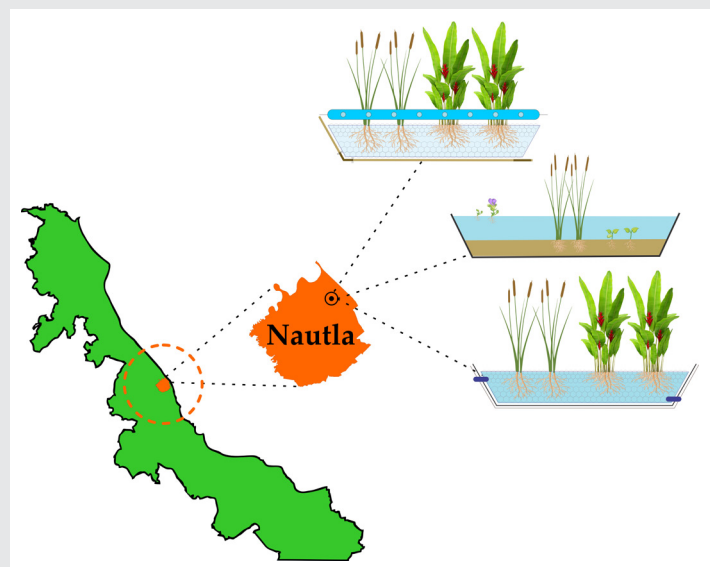


Figura 1. Micro localización del Humedal de Tratamiento en el municipio de Nautla.
Fuente: Elaboración propia.

Indicadores financieros

Los indicadores financieros son parámetros que permiten analizar el desempeño de un proyecto como modelo financiero para evaluar la rentabilidad económica a corto, mediano y largo plazo.

VPN

El Valor Actual Neto, también conocido como Valor Presente Neto (VPN), determina mediante la actuali-

zación de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial [9], [10] (Ver Ec. (1)).

$$VPN = Flujo de caja - Inversión Inicial \quad Ec.(1)$$

$VPN = 0$. El proyecto no genera pérdidas, pero tampoco ganancias

$VPN > 0$. Se considera que el proyecto será viable.

$VPN < 0$. Se considera el proyecto inviable.

TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es el interés mínimo para que el VPN sea igual a 0. Por lo tanto, el TIR es la tasa de retorno de la inversión realizada, indicando el porcentaje de beneficio o pérdida que se obtiene en una inversión [9], [10] (Ver Ec. (2)).

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad Ec.(2)$$

En donde:

Fn es el flujo de caja en el periodo n .

n es el número de periodos (años).

i es la inversión inicial.

B/C

El Costo-Beneficio (B/C) o Índice Neto de Rentabilidad muestra la relación que existe entre los costos y los ingresos del proyecto a corto, mediano y largo plazo [9]-[11] (Ver Ec. (3)).

$$B/C = \frac{Beneficios Totales Netos}{Costos Totales Netos} \quad Ec.(3)$$

$B/C=1$: No existen ni pérdidas ni ganancias. No hay viabilidad del proyecto.

$B/C<1$: Los beneficios por realizar el proyecto son inferiores a los costos del proyecto. Inviabile el proyecto.

$B/C>1$: Los beneficios por realizar el proyecto son superiores a los costos del proyecto por lo que se considera viable.

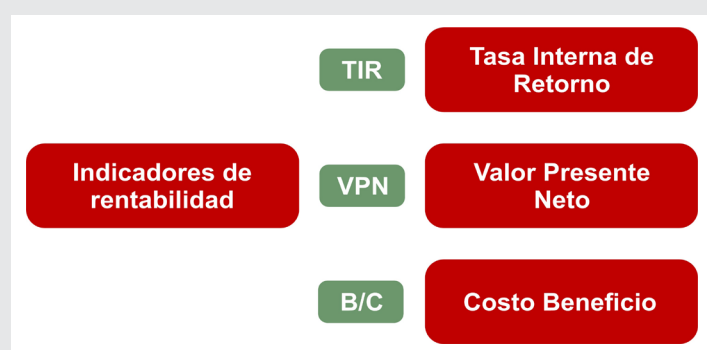


Figura 2. Indicadores de rentabilidad financiera
Fuente: Elaboración propia basado en [9]-[11]

RESULTADOS

La estructura de costos ver Tabla 1 está conformada por el presupuesto asignado más el costo histórico

de operación del Humedal de Tratamiento (HT) “La Tortuga” después de realizar su inauguración en el año 2022.

Tabla 1. Estructura de costos de “La Tortuga”.

Humedal de Tratamiento	
Construcción	
Cárcamo de bombeo	
Sedimentador	
Humedales Verticales	
Humedales Horizontales	\$6,198,918.83
humedal flujo libre	
Humedales Horizontales	
Andador de mantenimiento	
Mantenimiento anual	\$2,435.00
Costo de personal y cuidados	\$60,000.00
Luz eléctrica	\$1,401.88

Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento de aguas residuales, es un modelo de economía circular el cual esta cuantificado en un costo por metro cúbico de \$5.23 y un precio de venta de \$ 10.00 [12]. Este servicio consiste en la separación de la carga orgánica que contienen las aguas residuales, eliminando al máximo la cantidad de residuos y contaminantes con la regularización de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Tabla 2. Unidades generadas para ingreso.

CONCEPTO (MERCANCIAS)	PRESENTACION	COSTO	VENTAS SEMANALES
SANSEVIERIA TRIFASCIATA	UNIDAD	\$107.00	
CANNA INDICA	UNIDAD	\$93.45	
CANNA HYBRIDS	UNIDAD	\$94.43	
COLOCASIA ESCULENTA	UNIDAD	\$202.00	
RUPELLIA	UNIDAD	\$121.50	
SAGITTARIA GRAMINEA	UNIDAD	\$121.50	
PONTEDERIA CORDATA	UNIDAD	\$222.00	
HELICONIA PSITTACORUM	UNIDAD	\$142.00	
CROPOSMA	UNIDAD	\$57.00	
BERBERIS	UNIDAD	\$57.00	
BERBERIS THUNBERGII	UNIDAD	\$57.00	
CYPERUS PAPHYRUS	UNIDAD	\$222.00	
EICHHORNIA CRASSIPES	UNIDAD	\$122.00	
AGUA TRATADA	M3	\$5.23	3240.00

Fuente: Elaboración propia.

El Humedal de Tratamiento tiene un sembrado de diferentes plantas ornamentales, sin embargo, en este primer año de operación no se han comercializado ver Tabla 2.

Teniendo en cuenta el valor generado por el tratamiento de aguas residuales se calcula el flujo de efectivo en el primer año de operación del humedal “La Tortuga” ver Tabla 3.

Tabla 3. Flujo de efectivo.

CONCEPTOS / AÑO	AÑO 0	AÑO 1
(+) VENTAS	\$ -	\$ 1,627,236.86
(+) VALOR DE RESCATE	\$ -	\$ 1,992,183.09
(=) INGRESOS TOTALES	\$ -	\$ 3,619,419.96
COSTOS FIJOS	\$ -	\$ 62,435.00
COSTOS VARIABLES	\$ -	\$ 1,401.84
(=) COSTOS TOTALES	\$ -	\$ 63,836.84
COMPRA ACTIVO FIJO	\$ 5,294,556.18	\$ -
COMPRA ACTIVO DIFERIDO	\$ 35,058.41	\$ -
COMPRA CAPITAL DE TRABAJO	\$ 151,325.31	\$ -
(=) SALDO FINAL	\$ -5,480,939.90	\$ 3,555,583.12

Fuente: Elaboración propia..

Finalmente, utilizando los valores generados en el flujo de efectivo se realizó una proyección a 5 años para generar los ingresos y egresos netos al finalizar los periodos de evaluación ver Tabla 4.

Tabla 4. Indicadores financieros.

VAN	TIR	B/C
\$1,008,094.59	16.72 %	1.18

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se encontró que los indicadores VPN, TIR, Y B/C permitieron evaluar la viabilidad económica operativa del HT “La Tortuga” ubicado en Nautla, Veracruz. El valor actual neto de la eficiencia del proyecto es de \$1,008,094.59 > 0, un TIR del 16.72% > 10% tasa de actualización y un B/C de 1.18 lo cual nos indica que por cada peso invertido se tendrá un benéfico de 0.18 pesos, por lo que se concluye que es operativamente viable. Sin embargo, a pesar de que en la primera proyección se encontraron indicadores financieros positivos, no se descarta seguir monitoreando los costos de operación y mantenimiento para tener antecedentes reales y bien documentados de la rentabilidad y sustentabilidad de los Humedales de Tratamiento a Gran Escala y se adopten estas tecnologías alternativas para resolver problemáticas reales y no solo se queden en experimentos controlados.

AGRADECIMIENTOS

Se da un extenso agradecimiento al gobierno del estado de Veracruz encabezado por el Ing. Cuitláhuac García Jiménez y al Procurador del Medio Ambiente el Mtro. Sergio Rodríguez Cortés por la realización de este proyecto financiado con recursos públicos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] UN-WATER. (2023). *Alianzas y cooperación por el agua Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023 Datos, cifras y ejemplos de acción.*

[2] FAO. (2022). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021 - Systems at breaking point.*

[3] L. Rosa, D. D. Chiarelli, M. C. Rulli, J. Dell'angelo, and P. D. Odorico. (2020) 'Global agricultural economic water scarcity.

[4] Zitácuaro-Contreras, I., Vidal-Álvarez, M., Hernández y Orduña, M. G., Zamora-Castro, S. A., Betanzo-Torres, E. A., Marín-Muñiz, J. L., & Sandoval-Herazo, L. C. (2021). *Environmental, economic, and social potentialities of ornamental vegetation cultivated in constructed wetlands of Mexico. Sustainability, 13(11), 6267.*

[5] Perdana, M. C., Hadisusanto, S., & Purnama, I. L. S. (2020). Implementation of a full-scale constructed wetland to treat greywater from tourism in Suluban Uluwatu Beach, Bali, Indonesia. *Heliyon*, 6(10).

[6] Wu, Y., He, T., Chen, C., Fang, X., Wei, D., Yang, J., ... & Han, R. (2019). Impacting microbial communities and absorbing pollutants by *canna indica* and *cyperus alternifolius* in a full-scale constructed wetland system. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 802.

[7] Wu, Y., He, T., Chen, C., Fang, X., Wei, D., Yang, J., ... & Han, R. (2019). Impacting microbial communities and absorbing pollutants by *canna indica* and *cyperus alternifolius* in a full-scale constructed wetland system. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 802.

[8] IEGVER. (2022). Nautla Cuadernillos Municipales. Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Obtenida el 25 de agosto de 2023 de la página electrónica: <http://ceieg.veracruz.gob.mx/>.

[9] | Kasprowicz, T., Starczyk-Kołbyk, A., & Wójcik, R. R. (2023). The randomized method of estimating the net present value of construction projects efficiency. *International journal of construction management*, 23(12), 2126-2133.

[10] Agung, T. S., & Zuhri, B. S. S. (2023). Analysis of the Financial Feasibility of Potential Post-Pandemic Businesses Using the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period (PP) Methods (Case Study: MSME Environmentally Friendly Bioplastic Products). *Jurnal Multidisiplin Madani*, 3(7), 1432-1441.

[11] Rebollar, S., Posadas, R. R., Rebollar, E., Hernández, J., & González, F. D. J. (2020). Aportes a indicadores de evaluación privada de proyectos de inversión. *Revista Mexicana de agronegocios*, 46(1345-2020-1180), 444-461.

[12] CMAS. (2023). Costo de contratación por derechos de toma de agua. Obtenida el 25 de agosto de 2023 de la página electrónica: [Whttps://cmasxalapa.gob.mx/pdf/tarifas/tarifas_02_2023.pdf](https://cmasxalapa.gob.mx/pdf/tarifas/tarifas_02_2023.pdf).



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Efecto de la molienda mecánica en la microestructura de titanato de calcio (CaTiO_3)



Colaboración

Balter Trujillo-Navarrete; Juan José Hinostrroza-Mojarro; Samantha Nereyda Benítez-Suárez; Rosa María Félix-Navarro, Tecnológico Nacional de México Campus de Tijuana

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: En la presente investigación, se sintetizó titanato de calcio (CaTiO_3) por el método de estado sólido, evaluándose el efecto de la molienda mecánica usando un molino de bolas. Se analizaron dos factores: (1) el tamaño de esferas; y (2) el número de ciclos, cada uno con tres niveles (i.e., bajo, medio y alto). Las caracterizaciones fisicoquímicas seleccionadas fueron difracción de rayos-X, complementada con la técnica de refinamiento de Rietveld; y microscopía electrónica de barrido (SEM). Se aplicó un diseño de factorial completo a las variables: tamaño del cristalito y densidad del material. El análisis de los resultados sugiere el uso de dos ciclos con un tamaño de esfera intermedio, como condición óptima para la obtención de cristalito con tamaño nanométrico. Los resultados son significativos para el procesamiento de trióxidos, y su potencial aplicación.

PALABRAS CLAVE: Perovskitas, titanato de calcio, refinamiento Rietveld, microestructura y estructura cristalitos.

ABSTRACT: In the present investigation, calcium titanate (CaTiO_3) was synthesized by the solid-state method, evaluating the effect of mechanical grinding using a ball mill. Two factors were analyzed: (1) the size of the spheres; and (2) the number of cycles, each with three levels (i.e., low, medium, and high). The selected physicochemical characterizations were X-ray diffraction, complemented with the Rietveld refinement technique, and scanning electron microscopy (SEM). A full factorial design was applied to crystallite size and material density variables. The analysis of the results suggests using two cycles with an intermediate sphere size as an optimal condition for obtaining nanometric-sized crystallites.

The results are significant for the processing of trioxides and their potential application.

KEYWORDS: Perovskites, calcium titanate, refinement Rietveld, microstructure, and structure crystallites.

INTRODUCCIÓN

Las perovskita sintéticas fueron reportadas por primera vez por Weber et al. en 1978, usando una mezcla de óxidos, carbonatos u otras sales. Brevemente, el método síntesis consistió en una molienda manual, la calcinación a temperaturas > 1000 °C por tiempos prolongados, obteniendo muestras de composición homogénea. [1], [2].

La perovskita tiene una fórmula general de un trióxido: ABO_3 con una simetría cúbica perteneciente al grupo espacial P_{m-3m} . [3] Donde el sitio "A" corresponde al catión en el centro del cubo (p.ej., Ca, Na y La) asociado a 12 átomos de oxígeno. En cambio, el sitio "B" son metales de transición con una coordinación séxtuple, p. ej., Nb, Ta, Ti, Fe y Zr,

localizándose en las esquinas, mientras que el oxígeno ocupa las caras del arreglo poliédrico. [4], [5], [6].

Estos trióxidos pueden presentar vacancias de oxígeno y pérdida en los sitios "A" y "B", asociado a las diferencias de radios iónicos entre átomos. [7], [8] Lo cual genera distorsiones que afectan el enrejillado de celdas unitarias y su estructura electrónica, confiriéndoles mejoras en las propiedades del material, p. ej., mayor estabilidad térmica, detección selectiva mejorada, capacidad de almacenar energía y actividad catalítica.

En las últimas décadas, se ha incrementado el número de estudios relacionados con las perovskitas sintéticas y sus propiedades fisicoquímicas mejoradas. Sin embargo, falta información sobre los cambios a nivel microestructural y estructural en procesos como la calcinación y molienda. Motivo por el cual, se pretende estudiar el efecto de la reducción del tamaño del cristalito de forma sistemática. En el presente proyecto, se sintetizó CaTiO_3 por el método de estado sólido, evaluando el efecto de molienda mecánica en la microestructura y forma.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los productos químicos se usaron como se recibieron, los cuales fueron adquiridos en Sigma-Aldrich®: Carbonato de calcio (CaCO_3 , ACS), óxido de titanio (IV) fase rutilo (TiO_2 , 99.9%), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, 98%). Todas las soluciones se prepararon usando agua calidad MilliQ® (18 $\text{M}\Omega\text{-cm}$, Millipore®).

La síntesis de CaTiO_3 se realizó por el método de estado sólido o cerámico Figura 1. El primer paso consistió en una mezcla de CaCO_3 y TiO_2 en una proporción estequiométrica. Se disolvió en 25 ml de etanol a temperatura ambiente, manteniéndose en agitación constante por $\frac{1}{4}$ h. La solución resultante se secó a 80°C por 24 h en un horno de convección. Posteriormente, se calcinó el polvo en una mufla a 1300°C por 4.0 h. Un total de nueve materiales con sus réplicas fueron sintetizados, etiquetándose con el número de síntesis (S#). Los cuales fueron tratados usando un molino de bolas o esferas en un tarro de nylon.



Figura 1. Metodología de síntesis de CaTiO_3 .
Fuente: Elaboración propia.

Caracterización fisicoquímica

La fase cristalina se estudió usando un difractor de rayos-X (Bruker®, D8 Advance modelo da Vinci) operado a 40 kV y 35 mA, y equipado con fuente de radiación $\text{Cu K}\alpha$ en 1.54187 \AA y con un detector SSD-160-2. La configuración óptica fue la tradicional Bragg-Brentano θ - 2θ . Los difractogramas fueron adquiridos en un rango desde 15 hasta 85° de 2θ ($^\circ$) con un paso de 0.015° y un tiempo de 1 s. El refinamiento de Rietveld se ejecutó usando el software Topas® versión 6.0 proporcionado por Bruker®, considerando el error instrumental del equipo. La forma de partícula fue analizada usando un SEM (Tescan®, Vega3).

Análisis estadístico

El efecto de la molienda mecánica en el CaTiO_3 , se analizó usando un diseño factorial completo sin bloque para dos factores con tres niveles: (i) diámetro de esferas de zirconio (ZrO_2): 8, 10 y 11.5 mm, y (ii) número de ciclo (0.5 h): 1.º, 2.º y 3.º. El tratamiento aplicado a los polvos fue de forma aleatoria conforme al diseño de experimento, evitando el sesgo de investigación.

RESULTADOS

La fase cristalina de los materiales sintetizados fue indexada usando la base de datos PDF+4 del International Centre for Diffraction Data (ICDS). En la Figura 2, se muestran los picos de intensidad principales de los planos cristalinos en los valores de 2θ ($^\circ$): 32.29 (1 2 1), 33.40 (2 0 0), 47.95 (2 0 2), 59.63 (3 2 1), los cuales son coincidentes con la fase cristalina CaTiO_3 (tarjeta No. 04-023-0780) perteneciente al sistema cristalino ortorrómbico y grupo espacial Pnma (62). Además, los picos de intensidad faltantes en 2θ ($^\circ$): 27.6 y 36.3 pertenecen a TiO_2 fase rutilo (No. de tarjeta JCPDS 00-21-1276). El resultado sugiere la obtención de la fase cristalina deseada (i.e., CaTiO_3) y una reacción incompleta debido al exceso de reactivo.

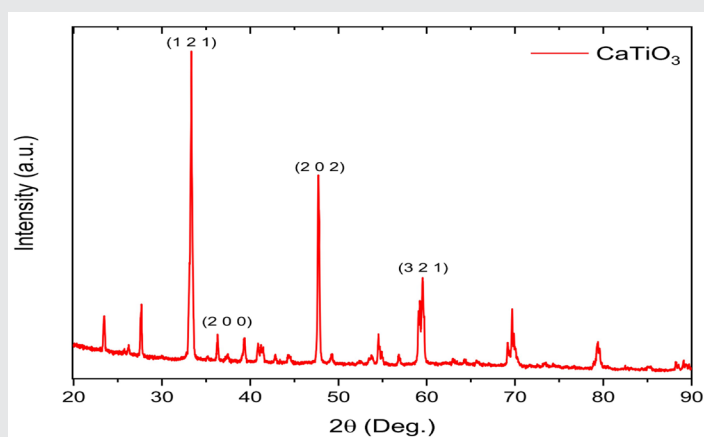


Figura 2. Patrón de difracción de rayos-X ilustrativo de CaTiO_3 .

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1, se enlistan los criterios de ajuste para el refinamiento de Rietveld: R_{exp} , R_{wp} , R_p , y χ^2 . Estos valo-

res indican una aproximación aceptable entre el perfil experimental (Y_{obs}) y el perfil teórico (Y_{calc}) conforme a lo indicado en la literatura. El porcentaje de fase cristalina calculado fue de $89.2 \pm 1.3\%$ para $CaTiO_3$ y $10.8 \pm 1.3\%$ para TiO_2 . El resultado indica un método de síntesis reproducible, y una pureza similar o superior a las reportadas en la literatura.

Tabla 1. Criterios de ajuste del refinamiento Rietveld.

	R_{exp}	R_{wp}	R_p	χ^2
S1	4.07	5.94	4.61	1.46
S2	4.06	5.76	4.43	1.42
S3	3.83	4.74	3.74	1.24
S4	3.56	4.51	3.41	1.27
S5	3.39	5.15	3.62	1.52
S6	3.01	6.03	3.78	2.01
S7	3.78	4.85	3.83	1.28
S8	3.28	5.24	3.8	1.6
S9	3.38	5.38	3.69	1.59

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2, se muestran los dos tamaños de cristalitas calculados a partir de la convolución de la función de Lorentz. (1) El valor $L_{Vol-FWHM}$ asociado a la altura de las columnas ponderadas por volumen basadas en la anchura del pico de intensidad a media altura FWHM (del inglés Full Width at Half Maximum) con un factor de forma de 0.89; y (2) el valor L_{Vol-IB} relacionado a la anchura β del pico de intensidad. Ambos parámetros fueron adquiridos del perfil completo de los picos de intensidad teóricos en el difractograma.

Conjuntamente, se reporta el valor D_{vol} que corresponde al material sin moler, usando la ecuación de Scherrer, i.e., el tamaño medio de los dominios ordenados cristalinos para el plano cristalino (4 0 4). Por último, la densidad del material ρ calculada a partir del volumen de celda resultante de los parámetros de la celda unitaria (a, b y c).

Tabla 2. Tamaños de cristalitas calculados por diversos métodos y su densidad.

	Tamaño del cristallito (nm)	L_{Vol-IB} (nm)	$L_{Vol-FWHM}$ (nm)	Densidad del cristal (g/cm^3)
S1	154.2	98.1	137.2	154.2
S2	129.0	82.1	114.8	129.0
S3	124.1	79.0	110.5	124.1
S4	43.1	27.4	38.4	43.1
S5	36.3	23.1	32.3	36.3
S6	31.1	19.8	27.7	31.1
S7	91.8	58.5	81.7	91.8
S8	41.8	26.6	37.2	41.8
S9	38.5	24.5	34.3	38.5

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, se muestra un gráfico de superficie del L_{Vol-IB} , donde se puede observar la condición óptima para el tamaño menor del cristallito: dos ciclos usando las esferas de 10 mm de ZrO_2 . Asimismo, la Figura 4 muestra las micrografías SEM de $CaTiO_3$ tratados. El tamaño de partícula es coincidente con la disminución

del tamaño de cristallito, donde S5 Figura 4d corresponden a la condición mencionada anteriormente.

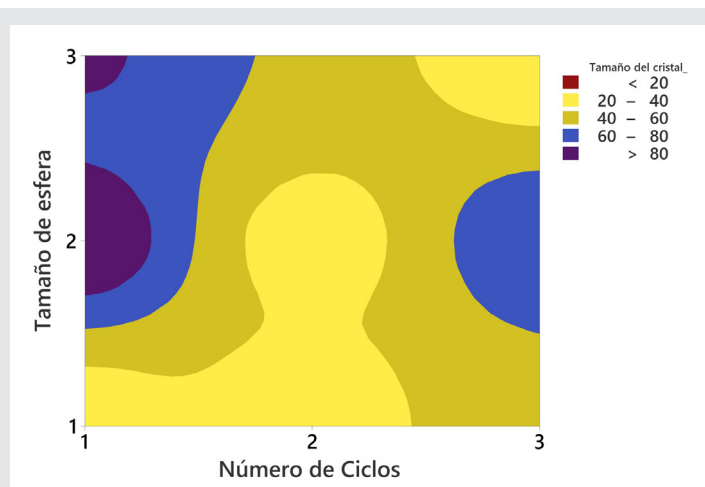


Figura 3. Variable tamaño del cristallito para los factores: número de ciclos vs. tamaño de esfera de $CaTiO_3$ procesados.

Fuente: Elaboración propia.

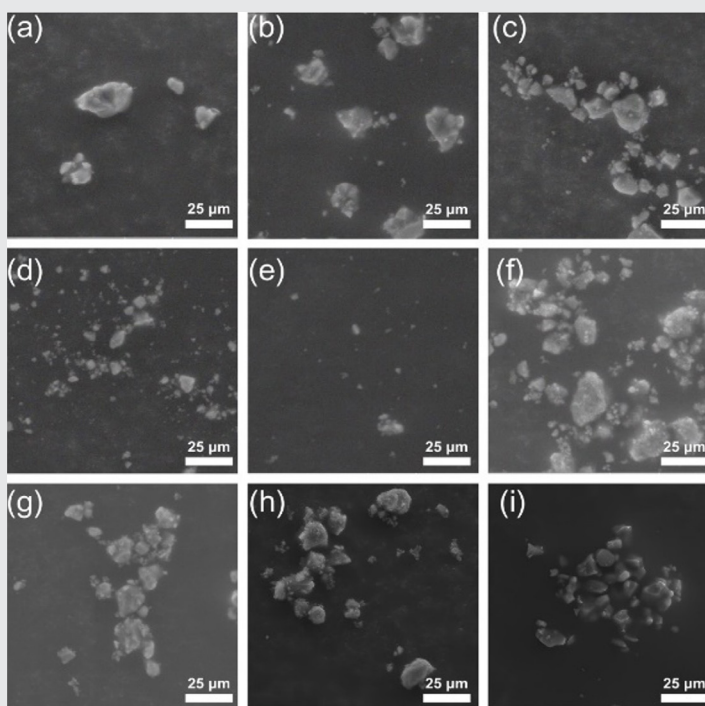


Figura 4. Micrografías SEM de $CaTiO_3$. S1 (a), S2(b), S3(c), S4(d), S5(e), S6(f), S7(g), S8(h) y S9(i).

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 muestra el comportamiento de la densidad (ρ), del material sintetizado afectado por la molienda mecánica. Se puede observar un decremento ρ conforme el incremento del tamaño de esfera usado en un ciclo de molienda, donde los parámetros óptimos identificados para disminuir el tamaño del cristallito exhiben una zona de un valor de densidad significativamente mayor.

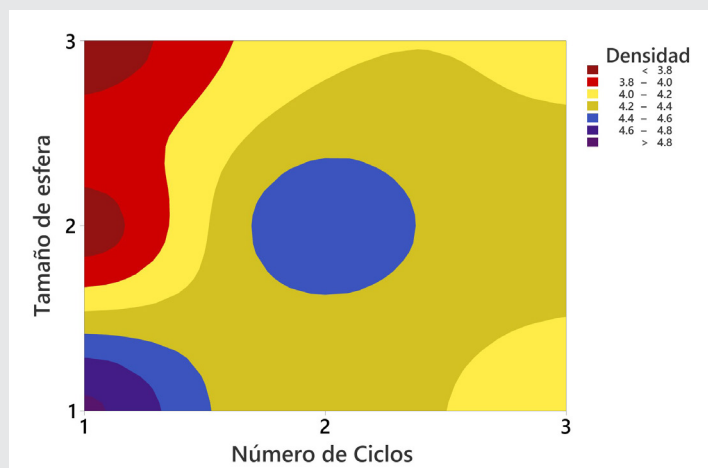


Figura 5. Variable densidad para los factores: número de ciclos vs. tamaño de esfera de CaTiO_3 procesados.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En resumen, investigamos el efecto generado por la molienda mecánica usando un molino de bola en la microestructura de CaTiO_3 . Los resultados revelaron que el tamaño del cristalito decreció significativamente, obteniendo tamaños menores a 100 nm. El estudio contribuye a la comprensión de los cambios en microestructura, donde se abre una gama de posibilidades para aplicaciones ambientales como el almacenamiento de energía en baterías de ion litio como soporte o sensor de contaminantes ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento para realizar el proyecto No. 17521.23-P. Asimismo, al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías por la beca de posgrado No. 906908 del estudiante Juan José Hinostroza-Mojarro.

BIBLIOGRAFÍA

[1] T. Paul, D. Das, B. K. Das, S. Sarkar, S. Maiti, and K. K. Chattopadhyay, "CsPbBrCl₂/g-C₃N₄ type II heterojunction as efficient visible range photocatalyst," *J. Hazard. Mater.*, vol. 380, p. 120855, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.120855.

[2] Y. Zhou et al., "A brief review on metal halide perovskite photocatalysts: History, applications and prospects," *J. Alloys Compd.*, vol. 911, p. 165062, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.jallcom.2022.165062.

[3] M. Johnsson and P. Lemmens, "Crystallography and Chemistry of Perovskites," in *Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials*, John Wiley & Sons, Ltd, 2007. doi: 10.1002/9780470022184.hmm411.

[4] S. Behara, T. Poonawala, and T. Thomas, "Crystal structure classification in ABO₃ perovskites via

machine learning," *Comput. Mater. Sci.*, vol. 188, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.commatsci.2020.110191.

[5] J. Jeong et al., "Pseudo-halide anion engineering for α -FAPbI₃ perovskite solar cells," *Nature*, vol. 592, no. 7854, pp. 381–385, Apr. 2021, doi: 10.1038/s41586-021-03406-5.

[6] Y. Wei, Z. Cheng, and J. Lin, "An overview on enhancing the stability of lead halide perovskite quantum dots and their applications in phosphor-converted LEDs," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 48, no. 1, pp. 310–350, Jan. 2019, doi: 10.1039/C8CS00740C.

[7] M. Saruyama, R. Sato, and T. Teranishi, "Transformations of Ionic Nanocrystals via Full and Partial Ion Exchange Reactions," *Acc. Chem. Res.*, vol. 54, no. 4, pp. 765–775, Feb. 2021, doi: 10.1021/acs.accounts.0c00701.

[8] S.-S. Rong, M. B. Faheem, and Y.-B. Li, "Perovskite single crystals: Synthesis, properties, and applications," *J. Electron. Sci. Technol.*, p. 100081, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jnlest.2021.100081.





Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Diseño de un sistema acuapónico de baja intensidad para la producción de *Oreochromis niloticus* y *Nasturtium officinale* para ambientes urbanos

RESUMEN: La acuaponía ha impactado positivamente en la producción de alimentos proteicos de consumo humano y por su mínimo uso de recursos naturales. El presente estudio se centró en realizar el diseño, suministro, habilitación y montaje de un sistema acuapónico por inundación, para la producción de Tilapia y berro de agua (*N. officinale*) en la ciudad de Misantla, Veracruz. El sistema construido cuenta con cuatro elementos: un reservorio de 1,700 L, un sistema mecánico de sedimentación (200 L), una cama de inundación con una capacidad de 360 L y un sistema de recirculación. Los resultados demuestran que en el sistema de baja intensidad se pueden alcanzar tallas de peces de 479.54 + 40.5 g en un periodo de ocho meses con un bajo consumo de energía, agua y un manejo mínimo del sistema. Por otra parte, la planta en estudio fue capaz de adaptarse a las condiciones acuapónicas. Los parámetros de la calidad del agua se mantuvieron dentro de sus respectivas especificaciones. Por lo tanto, se concluye que el sistema es sustentable al no ser invasivo con el medio ambiente produciendo de manera inocua peces y plantas apoyando la economía familiar.

PALABRAS CLAVE: Sistema acuapónico, *Oreochromis niloticus* y *Nasturtium officinale*.



Colaboración

Martha Elena Rodríguez Hernández; Gustavo Martínez Castellanos; María Cristina López Méndez; María Guadalupe López Landero; Jessica Yasmin García González, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

ABSTRACT: Aquaponics has positively impacted the production of protein foods for human consumption and the decrease in the use of natural resources. This project focused on the design and assembly of a flood aquaponic system for the production of Tilapia and watercress (*N. officinale*) in the city of Misantla, Veracruz. The built system has four elements: a 1,700 reservoir, a mechanical sedimentation system (200 L), a flooding bed with a capacity of 360 L and a recirculation system. The results show that fish sizes of 479.54 + 40.5 g can be achieved in the low intensity system over a period of eight months with low energy and water consumption and minimal system management. On the other hand, the plant under study was able to adapt to aquaponic conditions. The water quality parameters showed that there were no significant changes that affected the crops. Therefore, it is concluded that the designed system is sustainable as it is not invasive with the environment, safely producing plants and animals, supporting the family economy.

KEYWORDS: Aquaponic System *Oreochromis niloticus* y *Nasturtium officinale*.

INTRODUCCIÓN

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas la población mundial aumentará 2,000 millones de personas en los próximos 30 años, pasando de 7,982,686,753 millones en la actualidad a 9,982,686,753 millones en el 2050 [1]. La OMS reporta 828 millones de personas que han padecido hambre en 2021 y 2,200 millones de personas sin acceso a agua potable de manera segura en 2022. Por lo tanto, es necesario la im-

plementación de procesos sustentables que contribuyan a generar alimentos naturales, seguros y ricos en nutrientes. Los sistemas acuapónicos se enfocan a la producción de peces y plantas [2], con un menor impacto ambiental negativo de sus desechos que las productoras acuícolas tradicionales. Estos sistemas constituyen una integración de la acuicultura y la hidroponía [2], [3], mismas que se unen en un único sistema de recirculación aprovechando los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimentos, convirtiéndose en nutrientes para las plantas, limpiando en este proceso el agua para incorporarla al reservorio de los peces [4].

La mayoría de los sistemas productivos están enfocados a producir a escalas medianas o grandes y los sistemas pequeños se realizan de manera artesanal. La acuaponía se ha convertido en una actividad productiva con un crecimiento ascendente, caracterizándose por ser flexible para el cultivo de diversas especies [5]. La mojarra Tilapia (*O. niloticus*) es la segunda especie acuática más cultivada debido a que cuenta con una alta adaptabilidad a diferentes ambientes, alimentos y calidades de agua, aunado a su resistencia a enfermedades y a su fácil producción [6].

Además de la Tilapia, en el sistema acuapónico se pueden cultivar diversas especies acuáticas combinadas con diversas especies de vegetales tanto comestibles como plantas ornamentales, según el fin que se tenga. El berro de agua (*N. officinale*) es una planta acuática rastrera o flotante, tolerante al frío [8], que es capaz de adaptarse a un amplio rango de hábitats y aclimatarse a espectros amplios de luz, características que le han brindado una amplia posibilidad de distribución en el ambiente o incluso en sistemas acuapónicos.

En general, tanto peces como plantas pueden adaptarse para cultivarse en sistemas acuapónicos a pequeña escala, que tienen como propósito la producción de alimento para uso doméstico en ambientes rurales o urbanos. Generalmente los sistemas a pequeña escala cuentan con tanques de peces de cerca de 1000 L y un espacio para cultivo de 3 m² en promedio, apropiados para la producción doméstica suficiente para una familia pequeña [9]. Las instalaciones con dimensiones entre 50 – 200 m² se clasifican como pequeñas, entre 5 – 50 m² muy pequeñas y < 5 m² microsistemas [10].

Con base a lo anterior, el objetivo del estudio fue diseñar y construir un sistema funcional a baja escala para la producción de Tilapia y berro de agua (*Nasturtium officinale*), con una alta resistencia a cambios de temperatura, iluminación y temporadas de escasez de agua, amigable en el mantenimiento de: las especies, los reservorios y la operación, ideal para proveer comestibles de alta calidad en ciclos de 8 meses para pequeñas familias.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

El presente estudio se llevó a la práctica desde noviembre 2022 hasta junio 2023. Una vez analizados los factores determinantes en el diseño, se implementó una metodología experimental, monitoreando y evaluando sistemáticamente las variables físicas y químicas que impactan en el crecimiento y engorda de la Tilapia y la adaptación del berro, tomando medidas correctivas y/o preventivas al perder la especificación de la temperatura, oxigenación, nitritos, nitratos, pH o alguna otra variable crítica.

Se realizó el diseño y montaje del sistema acuapónico en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Los elementos y configuración del sistema se muestran en la Figura 1.

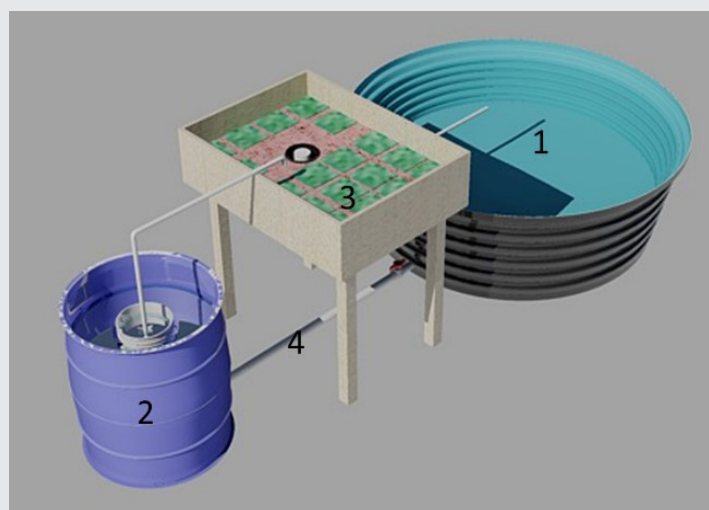


Figura 1. Diseño del sistema acuapónico para la producción de *O. niloticus* y *N. officinale* para ambientes urbanos.

Fuente: Elaboración propia.

Las partes y características del sistema se detallan a continuación:

1. Reservorio de peces: Consistió en un bebedero Rotoplas con una capacidad de 1,700 L, con una profundidad de 0.78 m y un diámetro de 2.1 m; el reservorio contaba con dos cabezas de poder de la marca Aqua Flow con capacidad de 750 L/h de 6.5 watts cuya función era mantener el agua en movimiento constante para ayudar a oxigenar el reservorio.

2. Sistema de filtración mecánica: Fue construido con la adaptación de un contenedor de plástico de 0.59 m de diámetro y una altura de 0.88 m con una capacidad de 200 L, integrado con un reservorio interno de 20 L para generar la separación de las partículas sedimentables y evitar su paso a la cama de inundación.

3. Cama de inundación (unidad hidropónica): La cama de las plantas estaba en un cajón de madera previamente barnizado de 1.30 m de ancho x 0.90 m de largo y 0.30 m de altura, el cual fue recubierto con material plástico como aislante de agua y humedad. La cama de inundación fue llenada con grava volcánica (Tezontle) previamente seleccionada por porosidad y tamaño entre 1 y 3

cm. La grava fue parte esencial de este sistema, ya que le da la capacidad de actuar como superficie de fijación de bacterias nitrificantes, dándole la funcionalidad de filtro biológico para que el amoníaco generado por los peces y los desechos se metabolizaran a nitritos y nitratos, además de que también retenía y degradaba partículas que no se lograban retener en el filtro mecánico. La cama de inundación se encontraba a una altura de 90 cm para que, por gravedad el agua regresara al tanque de los peces. La unidad hidropónica se construyó con 3 propósitos diferentes: a) Sistema de filtración biológica para metabolizar el nitrógeno amoniacal mediante oxidación aerobia/anóxica; b) sustrato fijo para el crecimiento de las plantas y; c) filtro físico para retención de partículas sedimentables.

4. Sistema de recirculación: El sistema estaba integrado por tubería hidráulica de 1 ½ pulgadas de diámetro conectando el reservorio de peces y el filtro mecánico y; tubería de ½ pulgadas de diámetro que va del filtro mecánico a la cama de inundación y de la cama de inundación al reservorio de los peces, lo anterior se puede apreciar en la Figura 1. En el sistema de filtración mecánica se encontraba instalada una bomba Resun de 800 L/h para recircular el agua clarificada a la cama de inundación, misma que contaba con un sistema de sifoneo tipo campana el cual permitía el aumento del agua hasta una altura de 15 cm que posteriormente por medio del sistema de vacío creado en el sifón, permitiera el desfogue del agua hacia el reservorio de los peces en un tiempo aproximado de 7.5 min, permitiendo su oxigenación.

Siembra de *O. niloticus* en el sistema

En el presente estudio se utilizaron alevines de tilapia con un peso inicial de 17.9 + 1.5 g y una longitud de 4.1 cm en promedio. Los peces fueron adquiridos en el mes de noviembre del 2022 en la Granja Acuícola Marina, ubicada en el Km. 2 Carr. Carrizal en el Municipio de Juchique de Ferrer. Se realizó el cultivo de 12 org/m³ de tilapia (*O. niloticus*).

Alimentación de *O. niloticus*

Se suministró alimento Nogafish de la marca NOGAL con un 36% de proteína, grasas min 6.0%, fibra cruda max 5.0%, cenizas max 8%, humedad max 12%, y ELN 33%, se les proporcionó alimentación tres veces al día (9:00 am, 12:30 pm y 16:00 pm) hasta aparente saciedad según lo reportado por [11], durante una observación de 10 minutos.

Crecimiento de *O. niloticus* en el sistema

Las variables de crecimiento son indicadores del éxito en el proceso de producción. Se registraron mediciones mensuales del crecimiento de los peces durante todo el periodo del experimento [12]. Se consideraron variables tales como: peso corporal, longitud, y supervivencia. El peso corporal se calculó mensualmente, para ello se tomó una muestra de 15 peces, se utilizó una báscula de precisión Nbe-cf2 Noval en los primeros meses del experimento, posteriormente una báscula comercial digital Rhino BAR-8 40kg 110V. Por otra parte, la longitud

de los peces fue medida en cm para lo que se utilizó un Vernier digital de la marca Keatronic, se alineó la punta de la boca del pez a la mordaza superior del Vernier y el inicio de la aleta caudal a la mordaza inferior, anotando la dimensión que marcaba el instrumento de medición.

Crecimiento de berro de agua *Nasturtium officinale*

El berro es una planta común en el municipio de Misantla conocida por su alto contenido en vitamina A y C, su baja demanda en la absorción de nutrientes la convirtió en la candidata perfecta para el cultivo [13], la siembra se realizó con el propósito de estudiar su adaptación en el sistema acuapónico con cama de inundación. Además de ser una planta rica en nutrientes consumida por los humanos en ensalada, comidas, es utilizada también como planta medicinal [14].

Para el crecimiento y cultivo de la verdura estudiada en el sistema acuapónico, primeramente, se realizó la adquisición de un rollo de berros mismo que fue comprado a los agricultores de la región de Misantla, se buscó y seleccionó aquel que presentara plantas con mayor cantidad de raíces de tal manera que estas permitieran absorber los nutrientes necesarios cuando fueran colocadas dentro de la cama de inundación. También fueron seleccionados los especímenes con el tallo más grueso y sano (sin presencia de pudriciones o daños). Una vez seleccionadas las plantas, se cortaron esquejes de 10 cm retirando todas las hojas con un bisturí estéril con el fin de evitar la contaminación y pudrición de las plantas. A los esquejes se les aplicó canela en polvo en los extremos del tallo y en las partes donde se le retiraron las hojas, con la finalidad de generar cicatrización en cada uno de los cortes, además de ayudar a proteger a los esquejes evitando daños por presencia de hongos. Finalmente fueron colocadas dentro de la cama de inundación como se puede observar en la Figura 2.



Figura 2. Siembra de esquejes de *Nasturtium Officinale* en la cama de inundación de un sistema acuapónico.

Fuente: Elaboración propia.

Los experimentos se realizaron a partir del mes de marzo y se enfocó en la adaptación de las plantas al

sistema, el cultivo fue hecho por esqueje mismos que fueron tomados de plantas maduras.

Parámetros de calidad del agua

La medición de los parámetros del agua son parte fundamental de la evaluación y control de todo sistema ya que muestran su comportamiento y permiten el control y la toma de decisiones sobre el mismo. Los parámetros analizados fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos recomendados por [15], [16] y evaluados mediante un medidor multiparamétrico digital. Así mismo también se evaluó amoníaco, nitritos y nitratos para ello se utilizó un kit colorimétrico Api Fresh Water.

Manejo y mantenimiento del sistema

El sistema de recirculación se mantuvo encendido durante todo el experimento. Se realizaron drenados o limpiezas semanales de 20 L del fondo del tanque de sedimentación mecánica y se repuso quincenalmente aproximadamente el 10 % del volumen total del agua del sistema que se perdía por evaporación o lavado. A pesar de que, en los primeros meses del experimento la limpieza del filtro mecánico fue ocasional y dependía del material acumulado, se decidió hacer limpiezas semanales a partir del mes de marzo, cuando las temperaturas de la zona se elevaron y los animales en experimentación comenzaron a alimentarse mejor y por consecuencia a producir mayor contenido de residuos en el sistema.

RESULTADOS

El prototipo construido mantuvo un funcionamiento continuo durante los 8 meses de experimentación de manera abierta como se observa en la Figura 3.

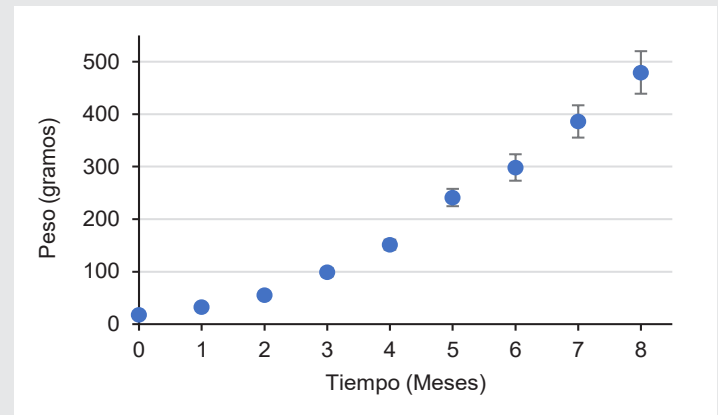


Figura 3. Sistema acuapónico físico en las instalaciones del ITS Misantla.

Fuente: Elaboración propia.

En los primeros meses (noviembre – febrero del 2022) se presentaron temperaturas bajas que rondaban entre los 10 a 18°C y de marzo a junio del 2023 temperaturas entre 20 - 28°C, estas temperaturas no satisfacen ple-

namente la especificación de 22 a 32°C recomendadas por expertos, por lo que las tilapias no presentaron una ganancia de peso óptima, como se aprecia en la Gráfica 1. También se puede observar el comportamiento de la ganancia de peso durante los 8 meses del experimento.



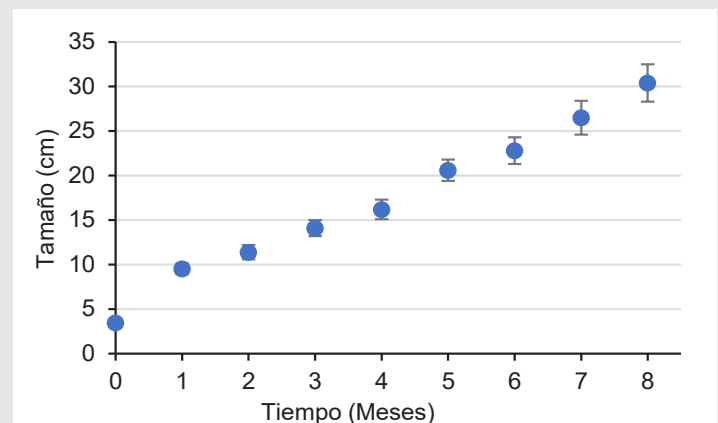
Gráfica 1. Ganancia de peso en un periodo de 8 meses.

Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse que a pesar de que se inició con peces con pesos de 17.9 + 1.5 g con 1 mes y medio de edad, la talla comercial alcanzada fue hasta el 8vo mes de experimentación (479.54 + 40.5 g), cuando algunos autores [17], [18] han reportado tallas comerciales de 450 g a los 6 meses de cultivo, con lo que se refuerza el efecto que tiene la temperatura en el desarrollo de la Tilapia.

En el sistema no hubo mortalidad debido a la baja densidad poblacional experimentada. Estos comportamientos sobre la disminución del crecimiento e incluso mortalidad de los peces en los sistemas con respecto a bajas temperaturas han sido reportado previamente [19].

Puede observarse en la Gráfica 2 que la ganancia de tamaño en los meses “fríos” fue lenta y en los meses cálidos presentaron mayor crecimiento, lo cual es consistente con los datos reportados por [20].



Gráfica 2. Comportamiento del crecimiento de los peces en el prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

Al inicio y durante un periodo de 4 meses (noviembre – febrero) del experimento y con la finalidad de adaptar el biofiltro de la cama de inundación y retirar nitratos del sistema fueron cultivadas plantas ornamentales de la variedad *Sansevieria trifasciata* que son más resistentes al frío y no son muy exigentes en la absorción de nutrientes, por lo que se mantuvo la calidad del agua.

Una vez que las temperaturas aumentaron a partir del mes de marzo, se iniciaron los experimentos con la siembra de esquejes de berro, los primeros días presentaron un aspecto fresco (Figura 4), al séptimo día se notaron daños en la parte inferior de los esquejes y el tamaño del tallo fue disminuyendo con el tiempo. A las 5 semanas de permanecer las plantas en la cama de inundación se habían dañado y perdido todos los tallos de las plantas sembradas, siendo sustituidos por brotes sanos y abundantes mostrando una adaptación adecuada dentro del sistema (Figura 5).



Figura 4. Adaptación y desarrollo del berro en el sistema. Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar el crecimiento de la planta en el sistema acuapónico se consideró únicamente 2 variantes, las cuales fueron el tamaño del tallo y el número de hojas presentes en cada uno de los esquejes.

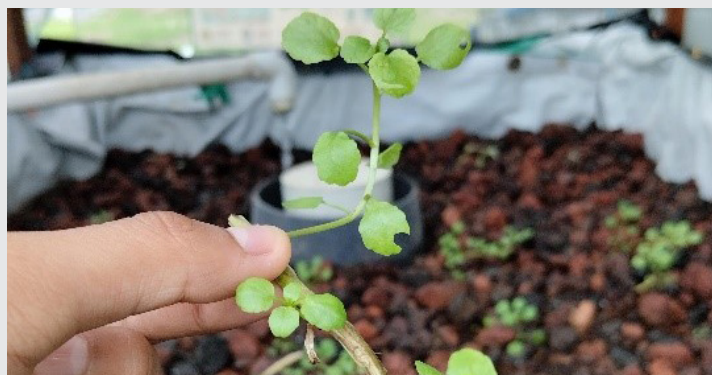


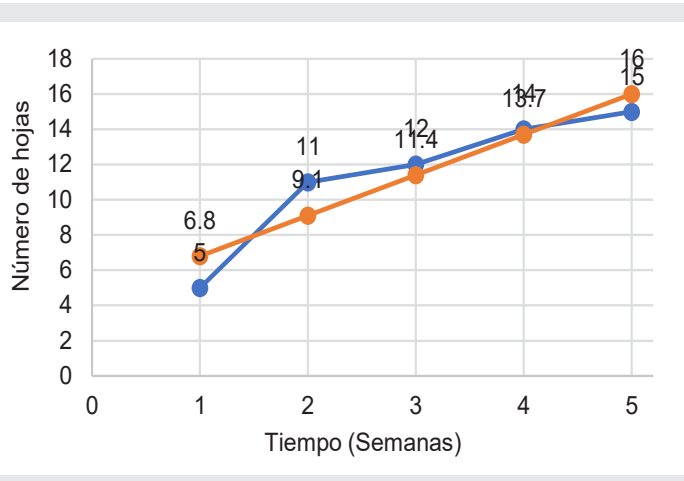
Figura 5. Brotes sanos de berro a partir de los esquejes inoculados en la cama de inundación. Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar el crecimiento o el aumento de biomasa se tomó el registro de los retoños (hojas) que la planta

en estudio presentaba semanalmente, con esta información se generó por mínimos cuadrados la ecuación predictora:

$$f(x) = 4.5 + 2.3x \quad \text{Ec. (1)}$$

Del comportamiento de los brotes, donde x es el periodo semanal por predecir y f(x) el número total de brotes en la semana x, 4,5 es el valor que toma f(x) cuando x=0 y 2.3 es el número de nuevos brotes por semana. Al graficar los nuevos brotes reales por semana (línea azul) y los nuevos brotes pronosticados por semana (línea roja), deducimos de la Gráfica 3 que la ecuación predictora de brotes generada es de buena calidad.



Gráfica 3. Comportamiento del número promedio de hojas presente en los esquejes de *Nasturtium Officinale*.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos demostraron que la planta seleccionada, es capaz de adaptarse y generar nuevas plantas en las condiciones acuapónicas de crecimiento.

Los parámetros registrados con respecto a la calidad del agua mostraron que no hubo cambios significativos que afectaran la calidad del agua para los cultivos de peces y plantas. Lo anterior puede observarse en la Tabla 1 y 2, que muestran pocas variaciones con respecto a pH, conductividad, TDS, amoníaco, nitritos y nitratos.

Lo anterior puede deberse a que el sistema no era intensivo, tenía una baja población de peces, estaba diseñado con el tamaño del tanque mecánico y volumen de la cama de inundación mayores a las necesarias para la cantidad de peces evaluados (12 org/m³). Esto permitió mantener estables los parámetros evaluados y demostrar que bajo estas condiciones no es necesario realizar acciones correctivas sobre el sistema; solo establecer un plan de limpieza semanal del filtro mecánico que evite la acumulación de materia orgánica con la consecuente generación de compuestos químicos tóxicos para la salud de peces y plantas (NH₄, H₂S, H₂, CH₄, etc) o la migración de sólidos a la cama de inundación con las mismas consecuencias.

Tabla 1. Parámetros físicoquímicos de la calidad del agua en el sistema acuapónico.

Parámetros para determinar la calidad del agua				
Variables	Meses observados			
Parámetro	2	4	6	8
pH	7.51 ± 0.51	8.43 ± 0.22	8.19 ± 0.46	8.37 ± 0.26
Temperatura (°C)	17.63 ± 2.5	23.70 ± 1.28	25.51 ± 1.54	23.5 ± 1.54
Conductividad (µS/cm)	304.93 ± 14.74	332.06 ± 19.76	323.06 ± 10.20	556.2 ± 243.39
TDS (ppm)	125.62 ± 19.40	182.81 ± 19.99	165.68 ± 19.14	269.37 ± 100.86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Parámetros de nitrógeno del agua en el sistema acuapónico.

Parámetros para determinar la calidad del agua				
Variables	Meses observados			
Parámetro	2	4	6	8
Amoniaco	0.21 ± 0.16	0.5 ± 0.23	0.46 ± 0.33	0.59 ± 0.35
Nitratos	1.87 ± 2.58	3.12 ± 3.72	4.37 ± 4.17	1.87 ± 2.58
Nitritos	0.18 ± 0.22	0.31 ± 0.17	0.28 ± 0.20	0.15 ± 0.18

Fuente: Elaboración propia.

Los datos observados de pH en el sistema durante la mayoría del proceso fueron consistentes y estables durante todo el experimento lo que es importante porque marca un cambio entre amoniaco y amonio de ácido a básico, siendo el primero más tóxico que el segundo.

CONCLUSIONES

El diseño e implementación de un sistema acuapónico a baja escala para el cultivo de mojarra tilapia permite establecer que es posible construir con una pequeña inversión entre 6,000 - 7,000 pesos MXN, un sistema funcional que tiene los siguientes beneficios: a) Bajo consumo energético, b) Sistema de bajo mantenimiento, c) Producción peces a tallas comerciales d) Producción continua de plantas comestibles, e) Generación de alimentos sin contaminantes, f) Alta estabilidad de los parámetros del agua y; g) Cero recambio de agua, solo sustitución del agua pérdida por evaporación y drenado de lodos. Desde este punto de vista y considerando la baja intensidad del sistema, puede concluirse que cualquier familia promedio de estatus socio económico medio podría invertir en un sistema de este tipo con la finalidad de producir alimentos en casa, reducir el consumo de alimentos comerciales, generar el aprendizaje de tecnologías fáciles y sencillas de aplicar y mantener.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México / campus Misantla por brindarnos plena confianza y

apoyo. Así como al El Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada No. CVU 1052663.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ONU, "Población | Naciones Unidas," 2022, Accessed: Jan. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/es/global-issues/population>.

[2] G.- Merino, ; Ortega-López, ; Trejo-Téllez, ; Sánchez-Páez, ; Salazar-Marcial, and ; Salazar-Ortiz, "AQUAPONICS: SUSTAINABLE AND POTENTIAL ALTERNATIVE FOR FOOD PRODUCTION IN MEXICO."

[3] N. Zappernick et al., "Techno-economic analysis of a recirculating tilapia-lettuce aquaponics system," *J. Clean. Prod.*, vol. 365, p. 132753, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.132753..

[4] K. K. Quagrainie et al., "Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the U . S . Midwest," *J. Appl. Aquac.*, vol. 00, no. 00, pp. 1-14, 2017, doi: 10.1080/10454438.2017.1414009.

[5] D. C. Love, M. S. Uhl, and L. Genello, "Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States," *Aquac. Eng.*, vol. 68, pp. 19-27, Sep. 2015, doi: 10.1016/J.AQUAENG.2015.07.003.

[6] Z. Gichana et al., "water Growth and Nutrient Removal Efficiency of Sweet Wormwood (*Artemisia annua*) in a Recirculating Aquaculture System for Nile Tilapia," pp. 1-14, 2019.

[7] D. On and A. S. Scale, "CRIANZA DE TILAPIA *Oreochromis niloticus* EN SISTEMA RAS BAJO DOS DENSIDADES A MENOR ESCALA PERU REARING OF TILAPIA *Oreochromis niloticus* IN A RAS SYSTEM UNDER TWO," vol. 3171, no. 1, pp. 53-64, 2023.

[8] M. Medellin, "Caracterización Agronómica del Berro (*Nasturtium officinale* R . Br .) y Respuesta a Diferentes Soluciones," p. 132, 2021.

[9] FAO, *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas*. FAO, 2022. doi: 10.4060/i4021es.

[10] C. G. P. Suárez, "Caracterización y optimización de la producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos de pequeña escala," pp. 1-177, 2021, [Online]. Available: [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/128899/Suárez Cáceres%2C Gina_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/128899/Suárez_Cáceres%2C_Gina_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

[11] S. Shiung, N. Ling, A. Jusoh, and M. Azmi, "Biological nutrient removal by recirculating aquaponic

system : Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components,” *Int. Biodeterior. Biodegradation*, pp. 1–9, 2015, doi: 10.1016/j.ibiod.2015.03.012.

Urban For. Urban Green., vol. 38, no. February, pp. 397–402, 2019, doi: 10.1016/j.ufug.2019.02.001.

[12] E. J. Lobillo, C. V. M. Fernández, L. A. Bermejo, and U. L. Pérez, “Economic sustainability of small-scale aquaponic systems for food self-production,” *Agronomy*, vol. 10, no. 10, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/agronomy10101468.

[13] Ryalcress, “Composición nutricional del berro de agua – Royalcress SA,” 2018. <https://www.royalcress.com/composicin-nutricional-del-berro-de-agua> (accessed Nov. 09, 2023).

[14] L. Cyprinus, “water Nutrient Removal Efficiency and Growth of Watercress (*Nasturtium officinale*) under Different Harvesting Regimes in Integrated Recirculating Aquaponic Systems for Rearing Common Carp,” 2020.

[15] T. A. Babatunde, K. Ibrahim, B. Abdulkarim, N. H. Wagini, and S. A. Usman, “Co-production and biomass yield of amaranthus (*Amaranthus hybridus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in gravel-based substrate filter aquaponic,” *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.*, vol. 8, pp. 255–261, Dec. 2019, doi: 10.1007/s40093-019-00297-5.

[16] A. Estim, S. Saufie, and S. Mustafa, “Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture,” *J. Water Process Eng.*, vol. 30, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.jwpe.2018.02.001.

[17] I. Diatin, D. Shafruddin, N. Hude, M. Sholihah, and I. Mutsmir, “Production performance and financial feasibility analysis of farming catfish (*Clarias gariepinus*) utilizing water exchange system, aquaponic, and biofloc technology,” *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 20, no. 5, pp. 344–351, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jssas.2021.04.001.

[18] J. C. Zemor, W. Wasielesky, G. K. Fóes, and L. H. Poersch, “The use of clarifiers to remove and control the total suspended solids in large-scale ponds for production of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system,” *Aquac. Eng.*, vol. 85, pp. 74–79, May 2019, doi: 10.1016/j.aquaeng.2019.03.001.

[19] C. E. Boyd et al., “Achieving sustainable aquaculture : Historical and current perspectives and future needs and challenges,” no. May, pp. 578–633, 2020, doi: 10.1111/jwas.12714.

[20] A. Ascuito, E. Schimmenti, C. Cottone, and V. Borsellino, “A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context,”





Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Monitoreo del stripping en el Sistema RAP-Geomalla



Colaboración

Jaime Romualdo Ramírez Vargas; Sergio Aurelio Zamora Castro; María Eugenia Díaz Vega; Saul Castillo Aguilar, Universidad Veracruzana

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: La aplicación del pavimento asfáltico reciclado (RAP) reforzado con geomalla de fibra de vidrio para la construcción de vías de tránsito ligero es una alternativa sustentable que permite expandir la cobertura en infraestructura municipal; sin embargo, este sistema de interacción física propuesto debe trabajar sin efectos negativos debido a la incorporación del geo sintético en la estructura de la carpeta asfáltica de rodamiento. Esto llevó el estudio a monitorear su desempeño en una zona experimental a escala física con aforo controlado para tránsito ligero a través del registro microscópico, la medición milimétrica del asentamiento y la cronología macroscópica de su deterioro por captura de imágenes, que permitió asegurar que el sistema RAP-Geomalla no presenta daños significativos por tránsito relacionados con el desprendimiento de grandes porciones de la capa de rodamiento.

Por tanto, se trata de un sistema que resuelve la necesidad de vialidades para tránsito ligero aplicando materiales de desecho generados por los procesos de conservación de carreteras sin efectos adversos inherentes al origen de los residuos sólidos con la inclusión de un geo sintético.

PALABRAS CLAVE: Sustentable, Pavimento, Sistema, Geo sintético, Reciclado, Desprendimiento, Rodamiento, Tránsito.

ABSTRACT: The application of recycled asphalt pavement (RAP) reinforced with fiberglass geogrid for the construction of light traffic roads is a sustainable alternative that allows expanding coverage in municipal infrastructure; However, this proposed physical interaction system must work without negative effects due to the incorporation of the geosynthetic in the structure of the asphalt bearing layer. This led the study to monitor its performance in an experimental area on a physical scale with controlled capacity for light traffic through microscopic recording, millimeter measurement of settlement and macroscopic chronology of its deterioration by image capture, which allowed us to ensure that the system RAP-Geogrid does not present significant transit damage related to the detachment of large portions of the bearing layer.

Therefore, it is a system that resolves the need for roads for light traffic by applying waste materials generated by road conservation processes without adverse effects inherent to the origin of the solid waste and the inclusion of a geosynthetic.

KEYWORDS: Sustainable, Pavement, System, Geosynthetic, Recycling, Stripping, Rolling, Transit.

INTRODUCCIÓN

El uso del pavimento asfáltico reciclado y su combinación con las geomallas ha ganado cada vez más popularidad en los últimos años como una solución sostenible y eficiente para la construcción y mantenimiento de carreteras. Esta combinación de materiales ofrece diversas ventajas en términos de durabilidad, resistencia y reducción de costos, a pesar de los desafíos que pueden surgir, como el fenómeno del "stripping". En este artículo, estudiaremos la factibilidad de utilizar el pavimento asfáltico reciclado en conjunto con las geomallas para enfrentar el problema del desprendimiento de grandes porciones por falta de adherencia entre elementos del sistema RAP-Geomalla puesto en práctica.

Uno de los principales beneficios de utilizar pavimento asfáltico reciclado es la reducción del consumo de recursos naturales. El uso de asfalto reciclado puede disminuir la necesidad de extracción de materiales vírgenes, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente y a la reducción de la huella de carbono [1].

Además, diversos autores han demostrado que el pavimento asfáltico reciclado ofrece una mayor vida útil y resistencia al desgaste en comparación con el asfalto convencional. Por otro lado, la incorporación de materiales reciclados en el pavimento asfáltico puede mejorar significativamente su resistencia a la fatiga y a la formación de grietas, lo que resulta en una mayor durabilidad a largo plazo [2].

Para solucionar los problemas asociados al stripping, muchos investigadores han propuesto la combinación de pavimento asfáltico reciclado con geomallas. En paralelo, el uso de geomallas puede aumentar la capacidad de carga y la resistencia a la deformación del pavimento, reduciendo así la propagación de las fisuras y prolongando la vida útil de la carretera [3].

En cuanto a la seguridad vial, el uso de pavimento asfáltico reciclado combinado con geomallas también ha demostrado beneficios significativos. Esta combinación puede mejorar la resistencia al deslizamiento y la adherencia de los neumáticos al pavimento, lo que reduce los accidentes de tráfico y aumenta la seguridad de los usuarios de la vía [4].

La aplicación de estas soluciones sostenibles y eficientes ha sido ampliamente discutida por diferentes autores en los últimos cinco años. Otro estudio relevante destaca la importancia de optimizar la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas, mediante un diseño adecuado de la estructura y la elección de materiales compatibles [5].

En concordancia con lo anterior, la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas puede reducir significativamente el mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras, disminuyendo así los costos asociados y mejorando la eficiencia de la inversión [6].

Mediante el uso de tecnologías avanzadas, como el análisis por elemento finito, se ha demostrado la efectividad de la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas. El análisis numérico puede ayudar a comprender mejor el comportamiento mecánico de estos materiales en las distintas condiciones de operación, permitiendo una mejor optimización de su estructura [7].

Además, la combinación de pavimento asfáltico reciclado y geomallas ha sido ampliamente aplicada con éxito en proyectos de construcción de carreteras en diferentes partes del mundo. El uso de esta

combinación en un proyecto de rehabilitación vial en Estados Unidos demostró mejoras significativas en la resistencia y durabilidad del pavimento [8].

Es entonces que el uso del pavimento asfáltico reciclado en conjunto con las geomallas ofrece numerosas ventajas en términos de sostenibilidad, durabilidad y seguridad vial, a pesar de los desafíos relacionados con el stripping. Los beneficios del RAP al 30% para con el medio ambiente (véase el anexo A), además de los resultados del monitoreo en la zona experimental que se llevó a cabo a lo largo del presente trabajo respaldan la eficacia de esta combinación, proporcionando una base sólida para su aplicación en la construcción y mantenimiento de carreteras en el futuro.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona experimental

El presente trabajo definió dos huellas de estudio que se muestran en la Figura 1, para habilitar la zona experimental a escala física del Sistema RAP-Geomalla con un aforo de tránsito controlado. En este espacio ubicado en el estacionamiento de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat de la Universidad Veracruzana, en la ciudad de Boca del Río, Veracruz se retiró 1m² de la carpeta de pavimento semi rígido compuesta por adoquines en dos superficies de 1m por 1m cada una.



Figura 1. Zona experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se excavo 10 cm de la terrecería con propósito de suministrar una capa de grava de $\frac{3}{4}$ " de tamaño máximo nominal como base hidráulica, tal como aparece en la Figura 2.

Una vez compactada la capa de grava al 90% por medios manuales en capas de 4 cm, se depositó por capas la mezcla de concreto asfáltico reciclada elaborada en laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat con un porcentaje

de reemplazo del 30% de RAP [9] en el contenido de la mezcla asfáltica a utilizar.



Figura 2. Espesores de los materiales híbridos obtenidos.
Fuente: Elaboración propia.

Mezcla asfáltica

Del tipo convencional en caliente con AC-20 para la región señalada en la Figura 3 acorde a la normativa mexicana vigente suministrada por la Planta de asfalto IPESA, ubicada en la Carretera Federal Veracruz – Minatitlán km 34, El Tejar, Ver. Mientras que la muestra de pavimento asfáltico reciclado fue recolectada del banco adyacente al tramo Nautla – Palma Sola km 150, donde el material presentaba una condición visiblemente erosionada por viento sobre la carretera Núm. 180 que se encontraban en proceso de conservación. Este material de desecho se sometió al conjunto de pruebas (véase el anexo B) según la N-CMT-4-04/17 de la SCT para corroborar la calidad de sus agregados para mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa.



Figura 3. Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C.
Fuente: SCT - N-CMT-4-05-001/06.

Geo sintético

En el inter del proceso se coloca una geomalla de fibra de vidrio sin abetunar de configuración rectangular de 5 mm de lado, recomendada por la empresa “Ecomex”, debido a su capacidad de refuerzo y redistribución del asentamiento. En posición coplanar al eje neutro, tal

como se observa en la Figura 4 para finalmente cubrirse por el resto de las capas compactadas por medios manuales hasta alcanzar los 12 cm de espesor de carpeta.



Figura 4. Incorporación de la geomalla en la estructura de la carpeta.
Fuente: Elaboración propia.

Registro microscópico

Se utiliza un amplificador digital marca Steren con luz led para un centímetro cuadrado de contacto directo con enfoque nítido destinado a un aumento de 300x. Con captura cada semana a las siete de la mañana en tres puntos para cada superficie (véase el anexo C): entrada (E), centro (C) y salida (S) por donde se asegura el rodamiento del tránsito vehicular ligero repartido en rueda izquierda y rueda derecha. La escala estimativa del daño de la superficie de rodamiento es 1 para bajo disgregamiento del material, 2 para un disgregamiento medio y 3 para un disgregamiento alto.

Medición del asentamiento

Con la adecuación de un telemetro laser marca Juemel serie M8870-100 adaptado a un tri pie para cámara fotográfica que se calibra a una altura fija de 0.726 metros. Obsérvese la Figura 5. El registro es cada semana a las siete de la mañana en tres puntos para cada superficie (véase el anexo C): entrada (E), centro (C) y salida (S) por donde se asegura el rodamiento del tránsito vehicular ligero repartido en rueda izquierda y rueda derecha, con la referencia de un punto (R) ubicado sobre el adoquín que posee el nivel de superficie de rodamiento original.



Figura 5. Telemetría en la carpeta del sistema RAP-Geomalla.
Fuente: Elaboración propia.

Registro macroscópico

Con una cámara digital marca Nikon modelo D3200 sujeto a un brazo extensible de tripie que se fija a una altura igual a 1.5 m. El registro cronológico es semanal tomado a las siete de la mañana en cada una de las superficies por donde han transitado los vehículos. En esta instrumentación no se otorgan calificadores de daño, dado que la imagenología secuencial de cada superficie de rodamiento tiene un cambio de aspecto a lo largo del tiempo. Sin embargo, este registro es un jurado estricto para determinar el efecto del stripping en el sistema RAP-Geomalla habilitado y monitoreado integralmente a lo largo de 3 meses.

RESULTADOS

La degradación microscópica (véase el anexo D) muestra un ligero desgaste de la superficie de rodamiento a lo largo del período de monitoreo de la habilitación de la zona experimental.

El asentamiento es paulatino, pero uniforme con un alcance máximo igual a 25 mm con respecto al punto de referencia. La Figura 6 permite observar la deformación diferencial milimétrica entre los puntos del control a lo largo del período de monitoreo.

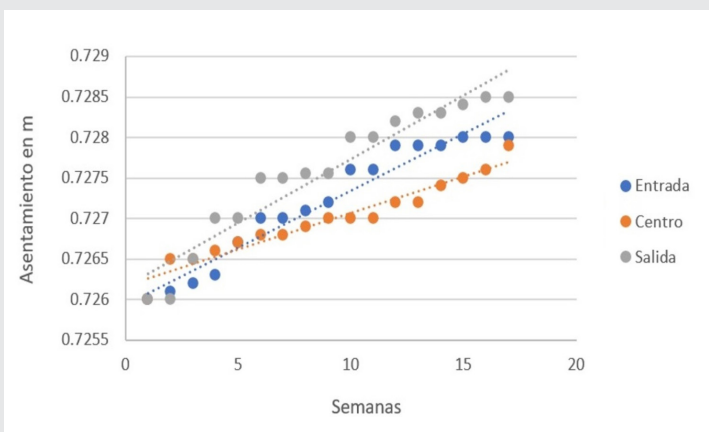


Figura 6. Gráfica del asentamiento de la carpeta a través de los puntos de control.

Fuente: Elaboración propia.

Así como la dispersión con respecto a la tendencia establecida por la regresión lineal de los puntos de control con el orden: entrada, centro y salida a través de las ecuaciones en forma respectiva:

$$y = 0.0001x + 0.7259 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$y = 0.00009x + 0.7262 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$y = 0.0002x + 0.7262 \quad \text{Ec. (3)}$$

No se observa desprendimiento de grandes porciones de la superficie de rodamiento a lo largo del período de monitoreo. (véase el anexo E)

AGRADECIMIENTOS

Expresamos el más sincero agradecimiento a la empresa Ecomex por el valioso asesoramiento brindado hacia nuestro estudio con relación a la valoración, clasificación y definición de la aplicación de los productos tensor utilizados en la estabilización de suelos y pavimentos con geo sintéticos. Su destacada especialización en este campo ha sido de suma importancia para nuestro proyecto, permitiéndonos contar con información clara y precisa que ha contribuido de manera significativa en la toma de decisiones. El conocimiento experto que nos han brindado nos ha permitido comprender a fondo las características, ventajas y aplicaciones de los productos TENSAR, así como su adecuada utilización en diferentes contextos y situaciones; dentro de ellas la geomalla de fibra de vidrio sin abetunar. Agradecemos especialmente la disposición y paciencia que han mostrado en responder nuestras múltiples consultas, brindando siempre una atención personalizada y orientadora. Su compromiso y profesionalismo ha sido evidente durante todo el proceso de asesoramiento, generando en nosotros una confianza plena en su experiencia y conocimientos.

CONCLUSIONES

La toma microscópica es un referente subjetivo debido a las variables como la refracción de la luz solar, la humedad, la inclusión de polvo y la misma parte calificadora que encuentra ambigüedades en capturas altamente semejantes.

La incorporación de la geomalla de fibra de vidrio sin abetunar en la estructura de la carpeta de rodamiento con RAP no potencializa el efecto del stripping entre agregado y ligante.

El efecto de stripping es sólo uno de los efectos adversos a los que puede estar expuesto el sistema RAP-Geomalla. Por tanto, se pretende estudiar en lo subsecuente la acción de la propagación de las fisuras por tendido en carpetas de pavimento con RAP que incorporan en su estructura la geomalla de fibra de vidrio sin abetunar; así como, queda sin explorar la línea de investigación con respecto a la rentabilidad de esta práctica.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Chen, X., Hu, H., Zhang, J., & Zhao, Y. (2016). Sustainable Performance Evaluation of Reclaimed Asphalt Pavement Based on Structure Analyses. *Journal of Cleaner Production*, 137, 404-413. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.143

[2] Wang, J., Huang, Y., & Xue, S. (2018). Investigation of Fatigue Characteristics of Asphalt Mixtures with Gradation on Using Recycled Asphalt. *Construction and Building Materials*, 188, 1122-1129. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.207.

[3] Li, Z., Chen, Q., & Zhou, L. (2019). Investigation on the Performance of Geosynthetic-Reinforced Semirigid Base during Wheel Tracking Test. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 145(3), 04019009. DOI: 10.1061/jpeodx.0000108

[4] Liu, X., Ahmed, A., Shu, X., & Cui, P. (2017). Effect of Recycled Asphalt Pavement Contents on Friction and Noise Properties of Asphalt Mixtures. *Construction and Building Materials*, 149, 1-9. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.207

[5] Wu, X., Liu, A., & Wang, H. (2020). Numerical Analysis of Mechanical Behavior of Recycled Asphalt Mixture Reinforced by Geogrid with Different Residual Strains. *Construction and Building Materials*, 258, 119685. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119685

[6] Zhang, F., Luo, X., Li, X., & Xu, C. (2018). Influences of Reinforcement Method on Mechanical Properties of Recycled Asphalt Pavement Materials. *Construction and Building Materials*, 183, 149-159. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.127

[7] Cheng, G., Kong, L., & Yi, J. (2021). Finite Element Analysis of Pavement Structure with Geogrid Reinforcement. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 6670711. DOI: 10.1155/2021/6670711

[8] Smith, K. M. (2019). Evaluation of a Hot In Place Recycling Project with Glass Fiber Reinforced Asphalt Emulsion in Michigan. *Transportation Research Record*, 2673(9), 437-448. DOI: 10.1177/0361198119834281

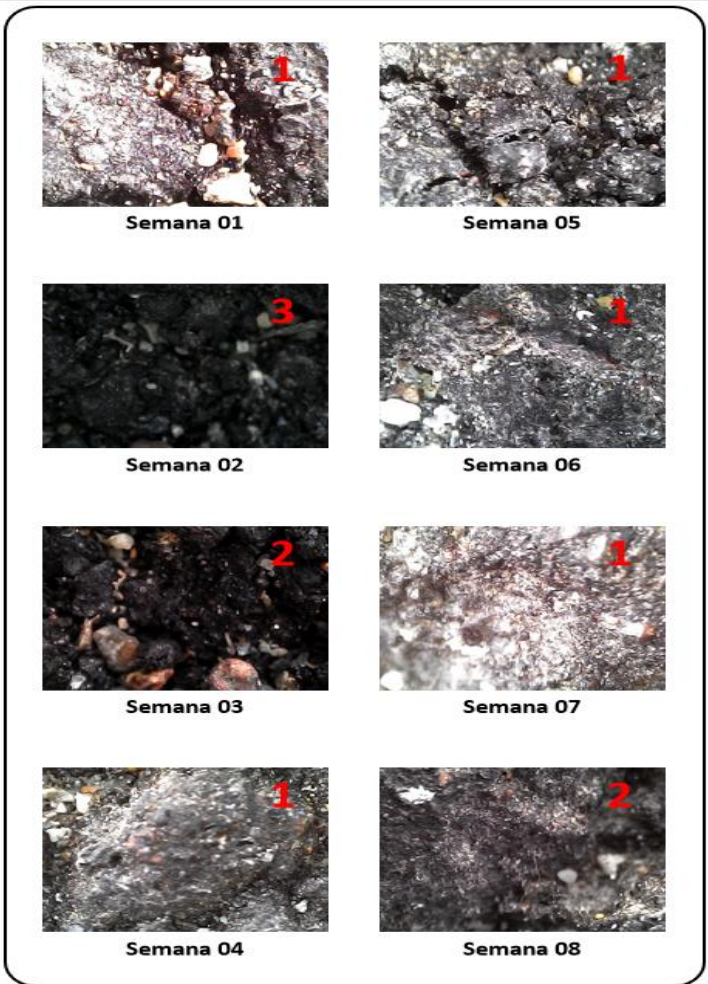
[9] Pradhan S.K. y Sahoo U.C. (2022) "Influence of softer binder and rejuvenator on bituminous mixtures containing reclaimed asphalt pavement (RAP) material". *International Journal of Transportation Science and Technology* 11, 46-59. DOI: 10.1016/j.ijtst.2020.12.001.

ANEXO A. Reducción del consumo de emisiones mediante el uso de RAP. Fuente: IMT NOTAS núm. 184, MAYO-JUNIO 2020, artículo 1.

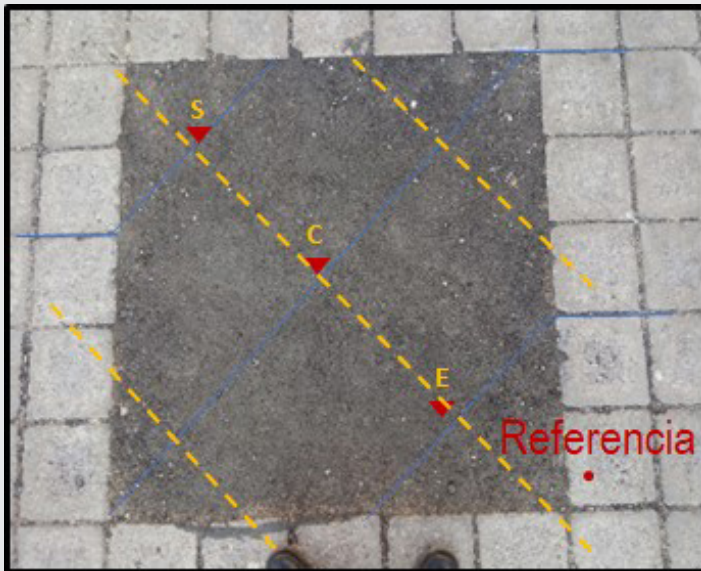
	[kgeqCO2/m3]	(%)
Mezcla Virgen		
Agregados	16.58	15.25
Conglomerante de asfalto	88.87	81.75
Bacheo	3.26	03.00
Mezcla 30% RAP		
Agregados	12.93	14.81
Conglomerante de asfalto	69.89	80.07
Bacheo	3.64	04.17
Preparación del RAP	0.83	0.95

ANEXO B. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\Sigma L \leq 10^6$. Fuente: SCT - N-CMT-4/04/17

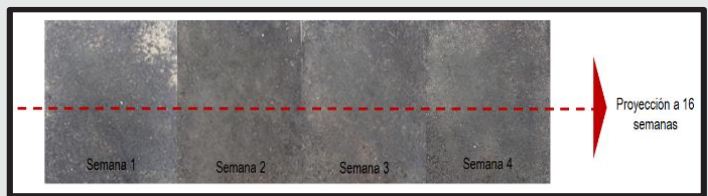
Característica	Valor	
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo	2,4	
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo	35	
Desgaste microdeval, %, máximo	18	
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo	en sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo	40	
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	90
	Dos o más caras	80
Desprendimiento por fricción, %, máximo	20	
ARENAS Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco (d_{pd}), mínimo	2,4	
Angularidad, %, mínimo	40	
Equivalente de arena, %, mínimo	45	
Azul de metileno, mg/g, máximo	18	



ANEXO D. Registro microscopio con valoración discreta en escala estimativa propuesta. Fuente: Elaboración propia.



ANEXO C. Puntos de control para la toma y registro de datos de la zona experimental del sistema RAP-Geomalla. Fuente: Elaboración propia.



ANEXO E. Valoración visual de la degradación de la carpeta de rodamiento. Fuente: Elaboración propia.



Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Caracterización electroquímica del material compuesto A3104 - AISI304 en agua de mar sintética

RESUMEN: El propósito de esta investigación es estudiar el efecto del pH en el Material Compuesto (MC) AA3104-AISI304, en agua de mar sintética. La generación de hidrógeno (H_2) en la actualidad tiene un alto costo y su desarrollo e implementación a gran escala ha sido de gran interés. Las aleaciones de aluminio tienen un gran potencial como materiales generadores de hidrógeno verde, debido a su bajo costo, rendimiento y mínima generación de contaminantes. En este trabajo el MC AA3104-AISI304 se obtuvo por colada convencional utilizando latas de aluminio como materia prima, (AA3104) y acero inoxidable (AISI304) como material de refuerzo. Las técnicas de caracterización microestructural consistieron en: Microscopía óptica (MO), Microscopía electrónica de barrido (MEB) y Difracción de rayos X (DRX). Antes de los ensayos de corrosión se observó la fase intermetálica βAl_6 (Fe, Mn), Al_2O_3 y $Al(OH)_3$ como productos de corrosión después de los ensayos electroquímicos. Los parámetros cinéticos obtenidos de las curvas de polarización potenciodinámica y la resistencia a la transferencia de carga (R_{ct}); confirmaron la susceptibilidad a la corrosión, siendo más acentuada la velocidad de corrosión en las probetas a un pH = 14. La influencia del intermetálico βAl_6 (Fe, Mn) y la química de la solución promovieron la disolución de (Al_2O_3) generando indirectamente hidrógeno (H_2).

PALABRAS CLAVE: Corrosión, Fragilización, Intermetálico, Electroquímica, Tafel.



Colaboración

Alfredo Reda Cruz; José Damian Calan Canche; Salatiel Pérez Montejo, Universidad Autónoma del Carmen, Campus III; Emilio Augusto Álvarez García, Universidad Tecnológica de Campeche; José Enrique Flores Chan, Universidad Autónoma del Carmen, Campus III

Fecha de recepción: 14 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

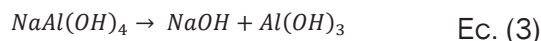
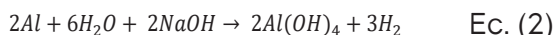
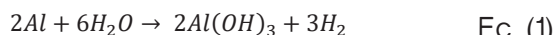
ABSTRACT: The purpose of this research is to study the effect of pH on the Composite Material (MC) AA3104-AISI304, in synthetic seawater. The generation of Hydrogen (H_2) is currently expensive, and its large-scale development and deployment has been of great interest. Aluminum alloys have great potential as green hydrogen-generating materials, due to their low cost, performance, and minimal generation of pollutants. In this work, MC AA3104-AISI304 was obtained by conventional casting using aluminum cans as raw material (AA3104) and stainless steel ($AISI304$) as reinforcement material. The microstructural characterization techniques consisted of: Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-ray Diffraction (XRD). Prior to corrosion testing, the intermetallic phase βAl_6 (Fe, Mn), Al_2O_3 and $Al(OH)_3$ as corrosion products after electrochemical tests. The kinetic parameters obtained from the potentiodynamic polarization curves and the resistance to charge transfer (R_{ct}); confirmed the susceptibility to corrosion, with the corrosion rate in the specimens being more accentuated at pH = 14. The influence of the intermetallic βAl_6 (Fe, Mn) and the chemistry of the solution promoted the dissolution of (Al_2O_3) indirectly generating hydrogen (H_2).

KEYWORDS: Corrosion, Embrittlement, Intermetallic, Electrochemical, Tafel.

INTRODUCCIÓN

Recientemente ha surgido el interés de estudiar las aleaciones intermetálicas de aluminio (Al) debido a sus aplicaciones industriales y de investigación. Las aleaciones de Al son excelentes materiales que se utilizan en la industria aeroespacial y

automotriz por sus diversas propiedades [1,2]. El MC AA3104-AISI304, es muy atractivo debido a los intermetálicos finos que se estabilizan químicamente a altas temperaturas [3,4,5]. La adición del hierro conduce a la formación de varios compuestos y fases intermetálicas sobre la matriz de aluminio [6,7]. La formación de micro celdas galvánicas entre la matriz de Al y los intermetálicos hacen atractivos a estas aleaciones, ya que favorece la generación de H₂, que se relaciona indirectamente con el proceso de corrosión donde las fases intermetálicas actúan como cátodos [8,9,10]. En este trabajo de investigación se estudió el proceso de corrosión electroquímica en agua de mar sintética al variar el pH, con la intención de generar H₂ a partir de la influencia de la fase intermetálica βAl6 (Fe, Mn) del MC AA3104-AISI304. El H₂ es un combustible que al quemarse genera agua, sin contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂). En investigaciones anteriores, se han reportado rutas para producir H₂ y formarse de manera natural la fase bayerita en agua [11,12,13,14], y a partir de las técnicas electroquímicas estudiar la cinética del proceso de corrosión del MC AA3104-AISI304 y las reacciones en la interfase del MC AA3104-AISI304 en agua de mar sintética. El proceso de corrosión del aluminio se describe mediante las siguientes semirreacciones [15].



Las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 muestran las rutas de disolución del Al y producción de H₂. En la ecuación 1, el Al reacciona con el oxígeno disuelto formando hidróxidos en el agua y/o óxidos de Al, como productos de corrosión y evolución de H₂. En la ecuación 2, se forma el complejo (2AlO(OH)₄) y 3H₂, produciendo indirectamente H₂. En la ecuación 3, el Al se disuelve por acción del NaOH y dándose la formación de Al(OH)₃, evidencia indirecta de la producción de H₂. Finalmente, en la ecuación 4, se produce un mol de Al₂O₃ y 3 moles de (H₂), confirmando la producción del H₂ durante todo el proceso.

Estas reacciones ocurren en la naturaleza en condiciones de temperatura y presión normal. La parte ambiental y económica es fundamental en este trabajo de investigación, ya que el aluminio es totalmente reciclable.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Materiales

La metodología experimental que se utilizó se muestra en la Figura 1.

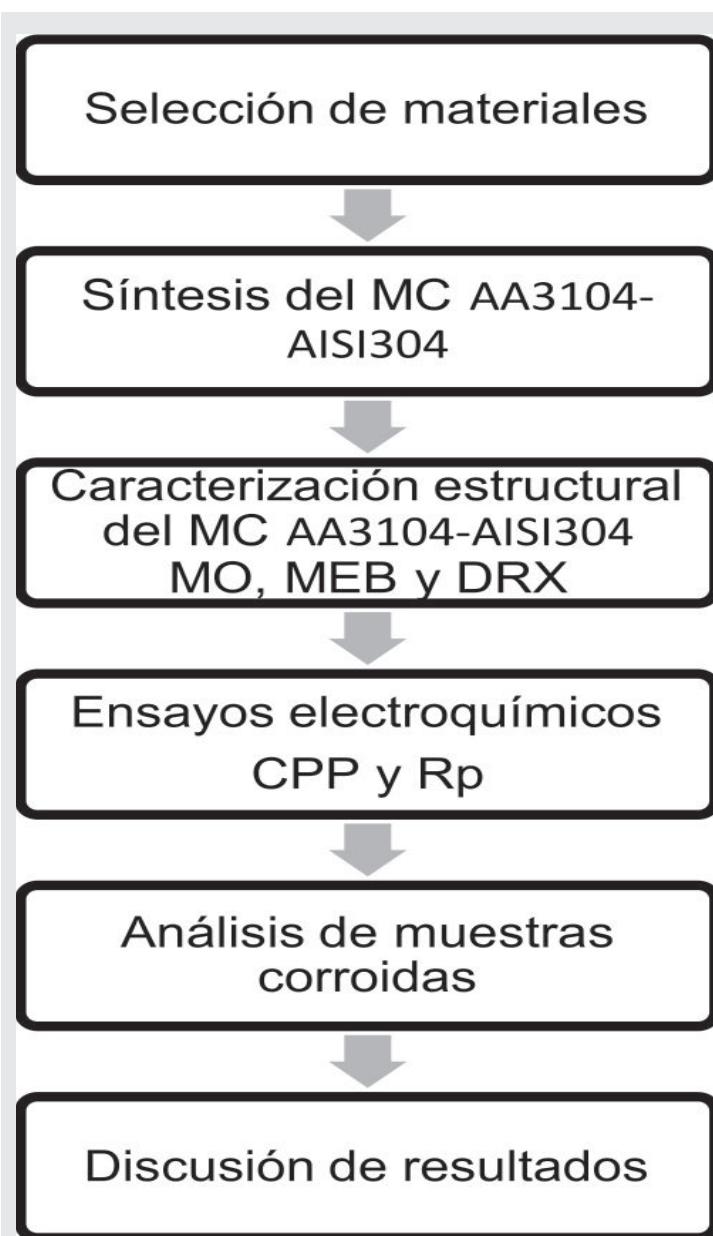


Figura 1: Diagrama experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Para la fabricación del MC AA3104-AISI304 se utilizó latas de Al de recicle como materia prima. Figura 2a, para el cálculo del volumen requerido fue tomado en cuenta la cantidad y densidad de las latas de aluminio en estado sólido (2.7 g/cm³), ver ecuación 5.

$$m = V * \rho \quad \text{Ec. (5)}$$

El material de refuerzo usado fue acero inoxidable comercial (AISI 304), Figura 2b, la resistencia a la corrosión de este material nos asegura que actúe como cátodo, acelerando la corrosión del aluminio. El AISI 304 es fácil de conseguir en tiendas de materiales para construcción o utensilios de grado alimenticio por lo que para fines de la investigación es más viable.



Figura 2: Materiales utilizados a) latas de aluminio b) Malla de acero AISI 304.

Fuente: Elaboración propia.

La fundición se realizó en un crisol de grafito alojado dentro un horno de resistencia eléctrica PREFINSA HR C4/1200; el proceso de fundición inicio calentando previamente el aluminio (AA3104) dentro del crisol, incrementando y controlando la temperatura hasta llegar al punto de fusión del Al (630°C).

De manera similar, el acero inoxidable (AISI304) alojado en un molde de yeso-cemento fue precalentado hasta 700°C, durante 1 hora, con la finalidad de equilibrar la temperatura de colada y evitar un choque térmico en el momento de realizar el vaciado del AA3104 fundido. El Al (AISI304), fundido fue vaciado sobre el acero inoxidable (AA3104) en forma de malla, sujeto en las paredes de un molde de yeso-cemento de geometría rectangular. En todo momento se aseguró que la malla quedara completamente embebida en el aluminio fundido, garantizando la calidad de la fundición, al finalizar la colada y después de 24 horas de enfriamiento hasta temperatura ambiente, se procedió a romper el molde para obtener finalmente lingotes del MC AA3104-AISI304, siendo el Al la matriz y el acero inoxidable el material de refuerzo. Figura 3.

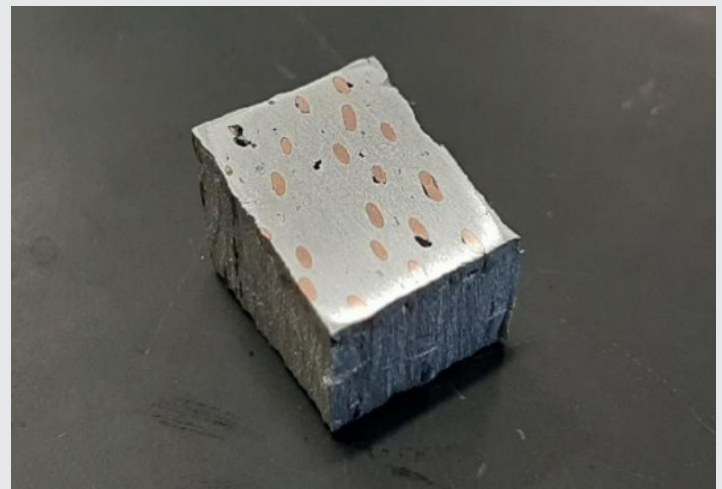


Figura 3: MC AA3104-AISI304.

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización microestructural del MC AA3104-AISI304

Las probetas tienen las siguientes dimensiones 15 mm x 15 mm x 15 mm obtenidas de los lingotes del MC AA3104-AISI304 (Ver Figura 3). Estos se desbastaron en una de sus caras con lijas de Carburo de silicio (CSi), de un tamaño de grano de 150 a 1500 hasta dejar una superficie uniforme. Posteriormente, las caras fueron pulidas empleando pasta de diamante de 1/10 μm , 1/2 μm y 3 μm , hasta obtener un acabado espejo. Finalmente, la superficie preparada fue atacada con solución Keller (2 ml de HF, 3 ml de HCl, 5 ml HNO₃, 190 ml H₂O), para revelar la microestructura característica de este compuesto.

Todo este desarrollo experimental fue basado en la norma ASTM E3-11 [16]. La caracterización microestructural se realizó con un Microscopio Óptico (MO) invertido de 100X-1000X, marca GZ modelo XJL17 y un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), marca JEOL-JSM. La composición química de las fases se identificó mediante un difractor D8 ADVANCE DAVINCI, con radiación Cu-K α y una longitud de onda (λ) =1.5406 Å y voltaje de 35kV y una emisión de corriente de 30mA. Los datos fueron recolectados en un rango de 2 θ de 15° a 90° con un paso de 0.0166.

Ensayos electroquímicos

Para la caracterización electroquímica se prepararon probetas de 2 cm x 2 cm x 1 cm que consistió en desbastar la superficie de una cara de la muestra con lijas de CSi, con tamaño de grano de 100 hasta 600, logrando una superficie efectiva de trabajo de 1 cm².

Se utilizó como electrolito, agua de mar sintética ajustado a pH = 8, 12 y 14 [17] y una celda electroquímica convencional de tres electrodos constituida por: un Electrodo de Referencia de Calomelano

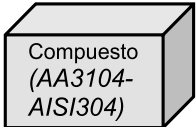
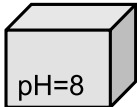

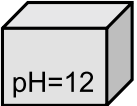
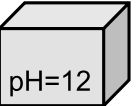
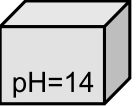
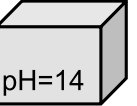
(ERC), una barra de grafito como Electrodo Auxiliar (EA) y las probetas del MC AA3104-AISI304 como Electrodo de Trabajo (ET).

Los ensayos electroquímicos utilizados fueron: Curvas de Polarización Potenciodinámicas (CPP) [18] y Resistencia a la Polarización (Rp) [19]. Las CPP se realizaron en un intervalo de -1000 mV a -2000 mV con respecto al Potencial de Circuito Abierto (PCA) a una velocidad de barrido de 1 mV/s.

La densidad de corriente de corrosión se calculó mediante la extrapolación de Tafel, considerando un rango de ±120 mV. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente y condiciones normales en un potenciostato/galvanostato de marca ACM Instruments.

El esquema para el estudio de la caracterización microestructural y electroquímica se muestra a detalle en la Tabla 1.

Tabla 1. Esquema para la caracterización microestructural y electroquímica.

Material de llegada	Ensayos electroquímicos	
	CPP	RPL
 <p>Compuesto (AA3104-AISI304)</p>	 <p>pH=8</p>	 <p>pH=8</p>
	 <p>pH=12</p>	 <p>pH=12</p>
	 <p>pH=14</p>	 <p>pH=14</p>
Técnicas	Técnicas	
MO	DRX y MEB	

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

La microestructura del acero inoxidable AISI304 utilizado como material de refuerzo, revelo granos de c-austenita a escala micrométrica con una red cristalina cubica centrada en las caras (por sus siglas en inglés, FCC), Figura 4.

Lesyk y colaboradores [20], obtuvieron resultados similares del AISI304 al revelar su microestructura a partir de un tratamiento superficial mecánico. En la Figura 4, se observa una microestructura compuesta por una solución solida sobresaturada de carbono en forma de cementita (Fe₃C).



Figura 4: Microestructura AISI 304.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 muestra la microestructura del Al AA3104, en la que se observa granos globulares distribuidos en una estructura dendrítica no uniforme y la presencia de la fase βAl₆ (Fe, Mn), intermetálico alojado en espacios interdendríticos y límites de grano. La fase β y la matriz forman micropares galvánicos en contacto con el agua de mar sintética.

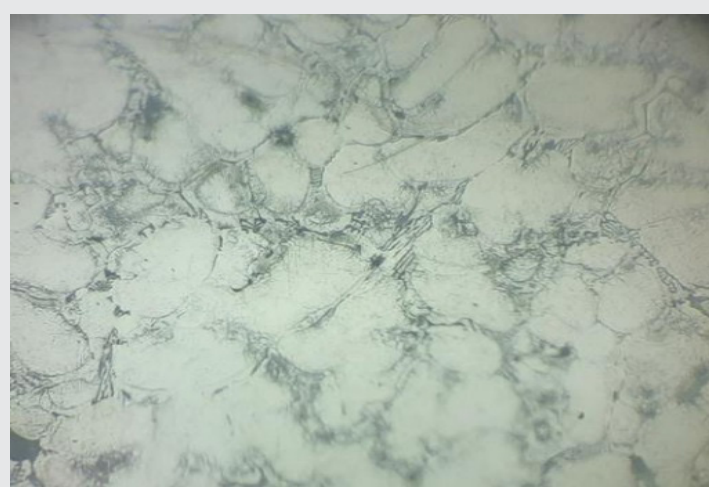


Figura 5: Microestructura AA3104

Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes de MEB se observa la microestructura del MC AA3104-AISI304 después de los ensayos electroquímicos en agua de mar sintética a pH= 8, 12 y 14 Figura 6. Se identificaron zonas agrietadas atribuido a la presencia y redistribución de la fase βAl₆ (Fe, Mn), preferentemente en los límites de grano. En la Figura 6a se observa zonas regulares del MC AA3104-AISI304 a pH=8, con cambios pocos significativos debido a la poca influencia del agua de mar en el espesor de la película de Al₂O₃. El Al₂O₃ obstruye el proceso de corrosión que se encuentra directamente relacionada a la liberación de H₂ en la zona catódica. Por otro lado, en la Figura 6b, se muestra un cambio significativo sobre la superficie del MC AA3104-AISI304 a pH=12, observándose pre-

sencia y adelgazamiento de Al_2O_3 sobre la superficie, acelerando el proceso de corrosión. Las tonalidades grises del refuerzo de AISI 304 indicaron desprendimiento del material disuelto, hendiduras profundas en la unión aluminio-refuerzo Figura 6c. Abdullah y colaboradores [21], comprobaron que soluciones que contienen más NaOH reaccionan más rápido sobre la superficie del aluminio, adelgazando la capa de óxido que se forma en la superficie del Al, accediendo a más área de contacto del material, promoviendo el proceso de corrosión. En la Figura 6c, se observa la superficie del MC AA3104-AISI304 a un $\text{pH}=14$, evidenciando una capa gruesa de color blanco sobre la matriz de Al con aglomerados bien cohesionados formados por placas hexagonales de la fase $\text{Al}(\text{OH})_3$ (bayerita) [22,23], favoreciendo la formación de óxido sobre la disolución anódica dando como resultado una mayor generación de H_2 .

Los patrones de DRX del MC AA3104-AISI304 a pH 8, 12 y 14, después de los ensayos electroquímicos (Figura 7), revelaron fases principales del Al y del hierro. A $\text{pH}=14$, se reveló hidróxido de aluminio (bayerita) como producto de corrosión e indicando la formación de H_2 . También se observó la presencia de pequeños picos no identificados en 20° y 40° . El proceso de corrosión se ve evidenciado por la aparición de la fase ρ en los DRX. La ligera disminución de los picos del Al conforme aumenta el pH de la solución se debe a la disolución de la matriz y un incremento en la intensidad de los picos identificados del hierro Figura 7.

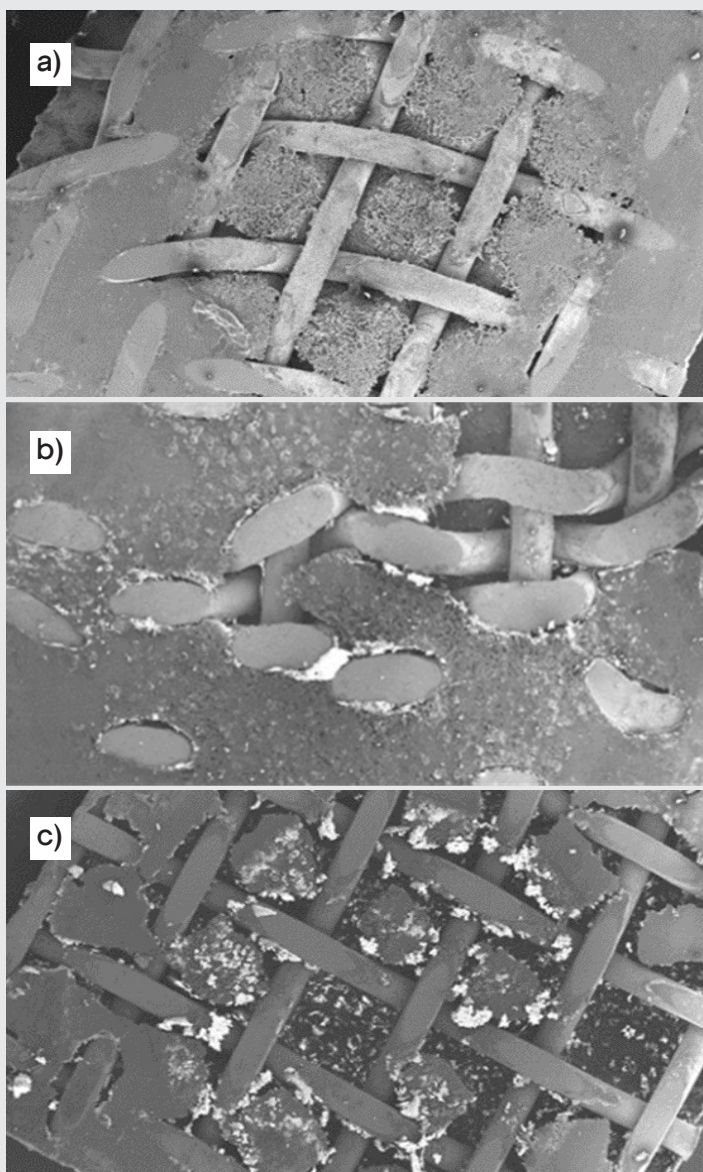


Figura 6: MEB MC (AA3104-AISI304) a) $\text{pH}=8$ b) $\text{pH}=12$ y c) $\text{pH}=14$.

Fuente: Elaboración propia.

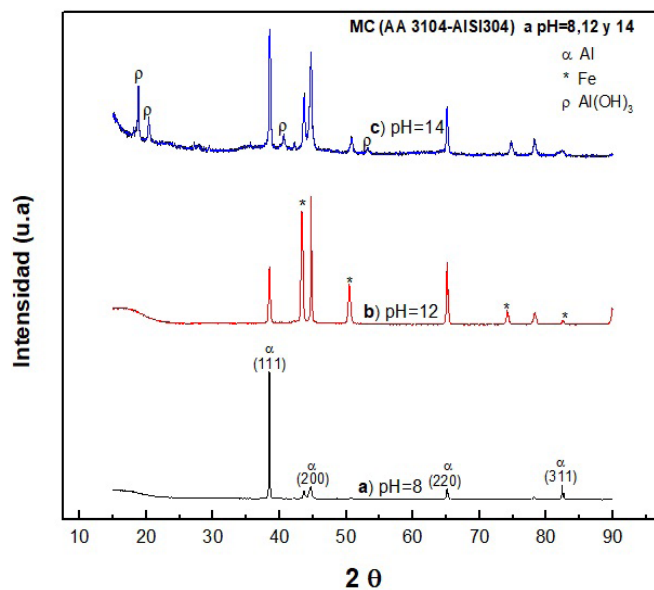


Figura 7: DRX del MC AA3104 - AISI304 a diferentes valores de pH , en agua de mar sintética.

Fuente: Elaboración propia.

Las curvas de polarización potenciodinámicas (CPP), Figura 8 de las probetas del material MC AA3104-AISI304, en agua de mar sintética a diferentes valores de pH , ajustadas con NaOH , mostraron un notable aumento de la densidad de corriente (i_{corr}), entre 13.20 mA/cm^2 a 4519.79 mA/cm^2 (ver Tabla 2) observándose más acentuado a $\text{pH}=14$ atribuido a picaduras sobre la superficie. La cinética de los potenciales de corrosión (E_{corr}) fue activo a $\text{pH}=14$ oscilando entre -866.7 mV y -1375.1 mV indicando inestabilidad de las capas pasivas en este rango de potenciales activos [11]. Los parámetros cinéticos obtenidos a partir del método de intersección se muestran en la Tabla 2. La i_{corr} se calculó a partir de la fórmula de Stern-Geary a bajo campo, aplicando un rango de potencial de $\pm 20 \text{ mV}$. Los resultados de las CPP mostraron que la condición más favorable para la producción de H_2 es a partir del $\text{pH}=14$, debido a que las reacciones catódicas de reducción de H_2 se presentaron potenciales más negativos.

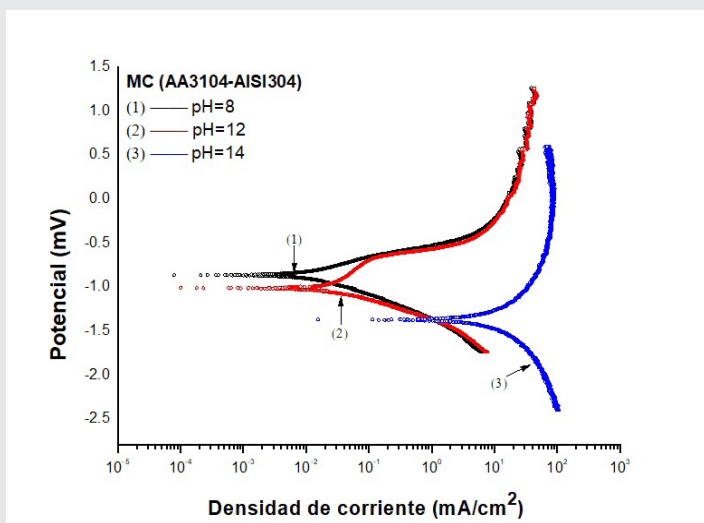


Figura 8: CPP del MC AA3104-AISI304 a diferentes pH en agua de mar sintética.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se muestra la cinética de la (R_p), a pH= 8 fue $4090 \Omega \cdot \text{cm}^2$, atribuido a un comportamiento controlado por transferencia de carga asociado a potenciales nobles en las CPP. Por otra parte, a un pH= 14 la R_p disminuye abruptamente debido a las múltiples reacciones anódicas sobre la superficie de la muestra, relacionado a potenciales activos en las CPP, promoviendo indirectamente un aumento en la producción de H_2 . La reacción electroquímica aumenta la cantidad de iones OH^- con la adición de NaOH en la solución, que a la vez incrementa la disolución del aluminio [13]. El comportamiento de los valores de R_p , E_{corr} e i_{corr} a pH= 8 y 12, fueron mínimas entre ambas por lo que la cinética electroquímica fue muy similar.

Tabla 2. Parámetros electroquímicos para el MC AA3104-AISI304 en diferentes pHs

Mediciones electroquímicas AA3104-AISI304					
pH	E_{corr}	i_{corr}	β_a	β_c	R_p
	mV	mA/cm^2	mV/ Década	mV/ Década	$\Omega \cdot \text{cm}^2$
8	-866.7	13.20	243.3	251.3	4090
12	-1011	18.23	349.5	181.6	2852
14	-1375	4519.9	318.7	305.5	15

Fuente Elaboración propia.

CONCLUSIONES

De la caracterización microestructural y el comportamiento electroquímico del MC AA3104-AISI304, en agua de mar a diferentes pHs, se obtienen las siguientes conclusiones:

Las micrografías MEB revelaron desprendimiento del material en la unión de los componentes del MC AA3104-AISI3104, acentuándose más a un pH=14. Sin embargo, a pH 8 y 12 el Al_2O_3 actúa como una barrera estable evitando el contacto del agua de mar con la superficie del MC AA3104-AISI3104.

El mecanismo y la tasa de corrosión asociado en el MC AA3104-AISI3104 favoreció su disolución, se observaron valores más altos en i_{corr} y el E_{corr} a pH 14, debido a una acelerada evolución de H_2 . Esto se debe al desplazamiento de la rama anódica hacia la derecha, acelerando así el proceso de corrosión.

Del mismo modo, a pH 8 y 12, el E_{corr} y i_{corr} presentaron valores similares, lo que puede indicar pasivación. De esta manera el MC AA3104-AISI304, presenta cualidades favorables para generar hidrógeno, a través de procesos corrosivos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Behrens B-A, Nürnberger F, Bonk C, Hübner S, Behrens S, Vogt H. (2017) Influences on the formability and mechanical properties of 7000-aluminum alloys in hot and warm forming. 1-9. doi: 10.1088/1742-6596/896/1/012004.

[2] Sharma, A., Das, T., & Paul, J. (2021). Performance evaluation of Al6061-graphene nanocomposites surface engineered by a novel multiple microchannel reinforcement approach in friction stir processing. Carbon Letters. 1-14. doi:10.1007/s42823-021-00230-9.

[3] Liu CT, Oliver WC. Fragilización ambiental y fractura de límite de grano en Ni3Si. Scr Metall. 1991; 25: 1933-1937.

[4] Lyndon, J. A., Gupta, R. K., Gibson, M. A., & Birbilis, N. (2013). Electrochemical behaviour of the β -phase intermetallic (Mg_2Al_3) as a function of pH as relevant to corrosion of aluminum-magnesium alloys. Corrosion 1-4. doi:10.1016/j.corsci.2012.12.022.

[5] Reda-Cruz, A., Vargas, S., Mohamed, A., & Enrique, J.E (2022). Efecto del tratamiento térmico en la evolución morfológica de la aleación Al-Mg20%. Handbook TI, 108. doi: 10.35429/H.2022.9.108.115.

[6] Ebhota WS, Jen T-C. (2018). Intermetallics formation and their effect on mechanical properties of Al-Si-X alloys. 1-4 <https://doi.org/10.5772/intechopen.73188>.

[7] Sharma A, Narsimhachary D, Sharma VM, Sahoo B, Paul J. (2019) Surface modification of Al6061-SiC surface composite through impregnation of graphene, graphite & carbon nanotubes via FSP: a tribological study.1-6 doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.001.

[8] Lee IS, Kao PW, Ho NJ. (2018) Microstructure and mechanical properties of Al-Fe in situ nanocomposite produced by friction stir processing. Intermetallics. ;16: 1104 <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2008.06.017>.

- [9] Bian Z, Dai S, Wu L, Chen Z, Wang M, Chen D, et al. (2019) Thermal stability of Al-Fe-Ni alloy at high temperatures.; 8:2538-48. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.028>.
- [10] Lee IS, Kao PW, Ho NJ. (2018) Microstructure and mechanical properties of Al-Fe in situ nanocomposite produced by friction stir processing.;16: 1104-8. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2008.06.017>.
- [11] J. E. Flores-Chan, A. Torres-Islas, C. Patiño-Carachure, G. Rosas-Trejo & M. A. Espinosa-Medina (2021) Corrosion behaviour of Al-20Cu intermetallic alloy in synthetic sea water,60:3,215-223, doi.org/10.1080/00084433.2021.1997263.
- [12] J. Skrovan, A. Alfantazi y T. Troczynski. (2011), Generación de hidrógeno mediante la aceleración de la corrosión del aluminio en agua con alúmina, World Acad. Ciencia. Ing. 325-330.
- [13] Soler, AM Candela, J. Macanás, M. Muñoz, J. Casado. (2010) Generación de hidrógeno a partir de agua y aluminio promovida por estannato de sodio, Int. J. Energía de hidrógeno. 1038-1048.
- [14] MQ Bo, KX Li, H. Li, FY Zun, YZ Xun, DM Li, LY Hong, CL Quan. (2008). Un nuevo método para generar hidrógeno a partir de agua, Chin. Física. Lett 25. 3482-3484.
- [15] Kahveci, O., & Kaya, M. F. (2021). Hydrogen production from Al-Cu alloy using electric vehicle's waste DC motor coils. International Journal of Hydrogen Energy. 1-5 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.201>.
- [16] ASTM. "Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens". ASTM E3-11. 2da Edition. Pennsylvania: Ed. ASTM International https://www.academia.edu/35989703/ASTM_E_3_01_Standard_Guide_for_Preparation_of_Metallographic_Specimens_1?auto=download&email_work_card=download-paper.
- [17] Standard, A.S.T.M, D. (1998). 1141-98: "Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water". American Society for Testing and Materials, USA. <https://tienda.aenor.com/norma-astm-d1141-98e1-003143>.
- [18] ASTM, Designation: G5-94, "Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements", 1993. <https://www.astm.org/g0005-94r11e01.html>.
- [19] ASTM, Designation G59-91, "Standard practice for conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements" 2004. <https://pdfcoffee.com/astm-g59-pdf-free.html>.
- [20] Lesyk, D. A., Soyama, H., Mordyuk, B. N., Dzhemelinskyi, V. V., Martinez, S., Khripta, N. I., & Lamikiz, A. (2019). Mechanical Surface Treatments of AISI 304 Stainless Steel: Effects on Surface Microrelief, Residual Stress, and Microstructure. Journal of Materials Engineering and Performance. <https://doi.org/10.1007/s11665-019-04273-y>.
- [21] Irankhah, A., Seyed Fattahi, S. M., & Salem, M. (2018). Hydrogen generation using activated aluminum/water reaction. International Journal of Hydrogen Energy. 1-6 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.07.014>.
- [22] Soler L, Candela AM, Macanás J, et al. (2009) Generación de hidrógeno por corrosión del aluminio en agua de mar promovida por suspensiones de hidróxido de aluminio. Int J Energía del Hidrógeno.; 34:8511-8518.
- [23] Wang HZ, Leung DY, Leung MKH, et al. (2009) Una revisión sobre la producción de hidrógeno utilizando aluminio y aleaciones de aluminio. Energía renovable sostenible; 13:845-853.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

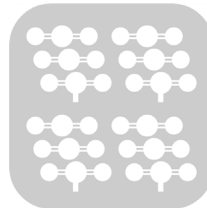
Estimación de ahorro de CO₂ en la operación de una planta fotovoltaica de 500 kW

RESUMEN: El desarrollo sostenible ha adquirido significativa importancia a nivel internacional, representando un esfuerzo colectivo para mejorar las condiciones de vida en todo el mundo. En 2015, los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como parte de la Agenda 2030, integrados e indivisibles en dimensiones económicas, sociales y ambientales.

La ingeniería eléctrica emerge como un actor clave en la consecución de estos objetivos, especialmente en el caso del ODS 7, que busca asegurar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. Además, su contribución se extiende de manera indirecta a metas relacionadas con el crecimiento económico sostenible, la construcción de infraestructuras resilientes e innovadoras, la promoción de modalidades de consumo y producción sostenibles, así como la urgencia de abordar el cambio climático.

En particular, la implementación de fuentes renovables, como la generación distribuida de energía, se revela como una opción destacada. La generación distribuida, que incluye tecnologías como cogeneración, turbinas eólicas, sistemas fotovoltaicos y otras innovaciones, se presentan como una vía para acceder a una energía descarbonizada. Este trabajo examina el impacto de la planta fotovoltaica de 500 kW instalada en la FCITEC, analizando datos históricos de generación y estimando el ahorro de emisiones de CO₂.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, energía sostenible, emisiones de dióxido de carbono, generación distribuida, objetivos de desarrollo sostenible, planta fotovoltaica.



Colaboración

Alejandra Jiménez; Allen Castillo; Gerardo Ayala; José Navarro; Irán Arias, Universidad Autónoma de Baja California

Fecha de recepción: 14 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

ABSTRACT: Sustainable development has acquired significant importance at the international level, representing a collective effort to improve living conditions around the world. In 2015, United Nations Member States adopted seventeen Sustainable Development Goals (SDGs) as part of the 2030 Agenda, integrated and indivisible in economic, social, and environmental dimensions.

Electrical engineering emerges as a key player in achieving these goals, especially in the case of SDG 7, which seeks to ensure access to affordable, reliable, sustainable, and modern energy for all. In addition, its contribution extends indirectly to goals related to sustainable economic growth, the construction of resilient and innovative infrastructure, the promotion of sustainable consumption and production patterns, as well as the urgency of addressing climate change.

In particular, the implementation of renewable sources, such as distributed power generation, is revealed as a prominent option. Distributed generation, which includes technologies such as cogeneration, wind turbines, photovoltaic systems, and other innovations, is presented as a way to access decarbonized energy. This paper examines the impact of the 500 kW photovoltaic plant installed at the FCITEC, analyzing historical generation data and estimating the savings in CO₂ emissions.

KEYWORDS: Climate change, sustainable energy, carbon dioxide emissions, distributed generation, sustainable development goals, photovoltaic plant.

INTRODUCCIÓN

El suministro convencional de energía eléctrica en naciones industrializadas se basa en la generación a gran escala mediante tecnologías como centrales de combustibles fósiles, nucleares o hidroeléctricas, seguidas del transporte de ener-

gía a largas distancias hasta los puntos de consumo. En los últimos años ha emergido un modelo alternativo: la Generación Distribuida (GD), caracterizada por la generación de pequeña escala cerca de los centros de consumo[1], [2]. La fusión de ambos modelos se vislumbra como la base para futuros sistemas eléctricos. La generación distribuida, especialmente a través de tecnologías basadas en fuentes renovables como los sistemas fotovoltaicos, se posiciona como una excelente opción para un suministro de potencia descarbonizado[3]-[5].

En América Latina entre los años 2000 y 2012, la huella de carbono proveniente únicamente por la generación de energía eléctrica aumentó en un 44%, esto equivale a 166 $MtCO_2e$ (millones de toneladas de CO_2 equivalente) al año [6]. Según datos de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, en 2010 el sector energía aportó un 69% del total de emisiones/absorciones de GEI en Panamá con 7769.56 $GgCO_2$ equivalente emitidos. De aquí, el subsector industrias de la energía, en donde está considerada la generación eléctrica, representó un 25%, con 1826.03 $GgCO_2e$ en emisiones [7].

Este artículo analiza la planta fotovoltaica ubicada en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (FCITEC), de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), construida en diciembre de 2019 y operativa desde octubre de 2020, con el objetivo de satisfacer hasta el 45% del requerimiento energético del campus [8]. Entre octubre de 2020 y julio de 2022, la planta produjo 569,557 kWh, generando un ahorro económico del 29.8%. Utilizando datos de monitoreo y el factor de emisiones de la Comisión Reguladora de la Energía, se estima el ahorro de toneladas de CO_2 en 2021.

MATERIAL Y MÉTODOS

Protocolo de monitoreo

Con la finalidad de estimar el ahorro de emisiones de dióxido de carbono fue necesario llevar a cabo un monitoreo constante de la planta fotovoltaica de la facultad, se consideró el siguiente protocolo:

1. Monitoreo de producción: se realiza un seguimiento continuo de la energía generada.

2. Factor de emisión: representa la cantidad de emisiones de algún gas de efecto invernadero, en este caso CO_2 , que se habrían producido si la misma cantidad de energía se hubiera generado utilizando métodos convencionales. Este factor generalmente es proporcionado por un organismo regulatorio, en este caso se utilizó el dado por la Secretaría del Medio Ambiente [9].

3. Cálculo del ahorro de emisiones: con el factor de emisiones y la energía generada en el periodo estudiado, se estimó la cantidad de emisiones que se habrían dado si la energía se hubiera generado a través de alguna fuente convencional.

Estimación de ahorro de emisiones

En la literatura se plantean diferentes ecuaciones para determinar el factor de emisiones, así como la cantidad emisiones de CO_2 ahorradas [5], [9]-[11]. En [12] se define el factor de emisión como se muestra en la Ec. 1.

$$FE_y = \frac{\sum(EG_n * FE_{comb,n} * K) / \eta_n}{EG_y} \quad Ec.1$$

Donde:

FE_y : Factor de emisión de CO_2 de la red eléctrica de la región en el año y (tCO_2/MWh).

EG_n : Energía Generada por la Planta de Generación n en el año y (MWh).

$FE_{comb,n}$: Factor de emisión correspondiente al combustible utilizado en la planta de generación n (tCO_2/GJ).

K : Constante de conversión 3.6 GJ/MWh .

η_n : Eficiencia promedio de generación de la planta generadora n durante el año y (%).

EG_y : Energía Generada por la red eléctrica de la región durante el año y (MWh).

El propósito del factor de emisión es determinar la cantidad de CO_2 emitido en relación con el tipo de combustible utilizado y la cantidad de energía generada. En este estudio, se emplea el factor de emisiones del Sistema Eléctrico Nacional, el cual fue publicado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales en el año 2021 [9], [13].

Con la finalidad de observar el desarrollo de las emisiones de CO_2 relacionadas con la producción de energía, se determinan las toneladas de CO_2 que hubieran sido emitidas por fuentes de energía convencionales. Esto se logra mediante el cálculo utilizando el indicador del factor de emisión de CO_2 y la cantidad de energía generada por la planta fotovoltaica durante el año específico en consideración.

$$E_{CO2} = \sum(EG_n * FE_y) \quad Ec.2$$

Donde:

E_{CO2} : Cantidad de CO_2 emitidas por la red de generación de energía (toneladas de CO_2).

FE_y : Factor de emisión de CO_2 de la red eléctrica de la región en el año y. (tCO_2/MWh).

EG_n : Energía generada por la planta de generación n en el año y. (MWh).

RESULTADOS

Se empleó el factor de emisiones difundido en 2021 por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, con un valor de 0.435 tCO_2e / MWh [9], [13]. Para calcular la disminución de toneladas de CO_2 emitidas durante el intervalo de enero a diciembre del mismo año, se sustituyó el factor de emisiones en la Ec. 2, haciendo uso también de los valores medidos de generación, obtenidos del informe de mediciones de la planta fotovoltaica de la FCITEC, elaborado internamente. La reducción anual de emi-

siones en el período examinado se determina como se muestra en la Ec. 3.

$$E_{CO_2} = 341.566 \text{ MWh} \quad \text{Ec.3}$$

$$* 0.435 \text{ tCO}_2\text{e/MWh}$$

$$E_{CO_2} = 148.58121 \text{ tCO}_2\text{e}$$

En la Tabla 1 se detallan los valores de ahorro de emisiones de CO₂ por mes.

Es importante recalcar que, en Baja California, los meses de primavera y verano suelen tener mayor radiación solar, por lo que se espera que haya una mayor generación de energía solar durante estos períodos, es decir, los meses de abril a septiembre. Por otra parte, es importante, aclarar que en agosto del 2021 estaba programado el mantenimiento a la planta fotovoltaica, sin embargo, no se le dio, lo que se ve reflejado en una disminución en la energía generada. Ese comportamiento se ilustra en la Figura 1, donde se observa una caída en la energía generada a partir de agosto de 2021 y se mantiene durante los meses de otoño e invierno.

Tabla 1. Energía eléctrica generada por la granja FV de enero 2021 a diciembre 2021 y ahorro de CO₂.

Factor de emisión: 0.435 CO₂e/MWh		
Mes	Energía generada por la granja FV (kWh)	Kg de CO₂
Enero-21	19,004	8266.786763
Febrero-21	34,229	14889.59325
Marzo-21	49,188	21396.9105
Abril-21	54,775	23827.0032
Mayo-21	58,444	25423.09324
Junio-21	34,763	15121.8963
Julio-21	28,178	12257.32016
Agosto-21	15,017	6532.507013
Septiembre-21	7,336	3191.061038
Octubre-21	13,317	5792.77755
Noviembre-21	12,735	5539.623863
Diciembre-21	14,581	6342.544688
Total	341,567	148,581.11
ECO₂	148.58 tCO₂e	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1. Energía generada por la planta fotovoltaica en el año 2021

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El propósito de este estudio consiste en calcular la reducción de emisiones de CO₂ asociada a la generación de energía por la instalación fotovoltaica de la FCITEC. El resultado obtenido es de 148.58 toneladas de CO₂ equivalente, equiparable a las emisiones de CO₂ de 27 personas durante un año. Es crucial destacar que la planta no ha alcanzado su capacidad máxima de generación, y factores como la inoperatividad de algunos paneles han contribuido a una producción inferior a la estimada.

Adicionalmente, es relevante señalar que las plantas convencionales no solo emiten dióxido de carbono (CO₂) sino también otros gases de efecto invernadero como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Por ende, se contempla en futuras investigaciones la estimación de ahorros en emisiones de estos gases.

BIBLIOGRAFÍA

[1] N. Jenkins and et al., *Embedded Generation. Institution of Engineering and Technology*, 2000. doi: 10.1049/pbpo031e.

[2] P. Khetrapal, "Distributed generation: A critical review of technologies, grid integration issues, growth drivers and potential benefits," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 9, no. 2, pp. 189-205, Jul. 2020, doi: 10.14710/ijred.9.2.189-205.

[3] Pepermans. G., J. Driesen, D. Haeseldonckx, W. D'haeseleer, and R. Belmans, "Distributed generation definition benefits and issues," *Energy Policy*, vol. 33, no. 5, 2005.

[4] J. Marsden, "Distributed Generation Systems: A New Paradigm for Sustainable Energy," *IEEE*, 2011. Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5754858>.

[5] J. Parreño1, O. Lara1, R. Jumbo1, H. Caicedo1, and D. Sarzosa1, "Diseño de un Módulo de Energía Solar

como Estrategia de Ahorro Energético y Disminución de la Emisión de CO₂,” Revista Científica A.S.A, vol. 2, no. 15, pp. 4-18, Jul. 2020, Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2849>.

[6] W. Vergara, J. V Fenhann, M. C. Schletz, and D. De Visión, “Carbono Cero América Latina,” 2016. Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/26305>.

[7] E. Sempris, Y. Sanchez, “Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y Primer Informe Bienal de Actualización para Panamá.” Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.undp.org/es/panama/publications/terceracomunicaci%C3%B3n-nacional-sobre-cambio-clim%C3%A1tico>.

[8] I. Salinas, “Producirán 832 MWh de energía en la unidad Valle de las Palmas,” BOLETIN FCITEC. Accessed: Aug. 14, 2023. [Online]. Available: https://issuu.com/boletincitec/docs/boletin_56.

[9] Secretaría del medio ambiente y recursos naturales, “Aviso: Factor de Emisión en el Sistema Eléctrico Nacional 2021.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/706809/aviso_fesen_2021.pdf.

[10] T. I. Serrano-Arevalo, “Planificación Estratégica para la Generación de Energía Eléctrica de Manera Sostenible,” Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.

[11] B. A. Guevara Calderón, “Aprovechamiento de la Energía Solar para la Generación de Energía Eléctrica y Reducción de Emisiones de CO₂ en el Caserío Nuevo Eden – Yambrasbamba - Amazonas,” Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo,” Lambayeque – Perú, 2018. Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3182>.

[12] “3 Evaluación de las emisiones de CO₂ y el factor de emisión de CO₂ de la red eléctrica de Panamá”.

[13] Gerencia de LAPEM, Subdirección de Generación, and Subdirección de Programación, Guía para Determinar el Factor de Emisión de Bióxido de Carbono Equivalente para el Sistema Eléctrico Nacional Guía CFE SPA0063. México: Comisión Federal de Electricidad, 2016, pp. 1-10.





Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Propuesta del rediseño de la red LAN en el centro de cómputo del Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale

RESUMEN: La presente investigación tiene como objetivo principal realizar una propuesta que permita mejorar el servicio del laboratorio de cómputo para el aprovechamiento máximo de una red de computadoras. De igual modo, se analizan las estructuras de la red, la topología que se utilizan para el rediseño, que se caracterizan según la distribución de las estaciones de trabajo.

Se describe la problemática encontrada en el Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale en el edificio E, donde aparentemente cuenta con una administración correcta de la red, así como la falta de equipos en su red ya que varios equipos de cómputo no funcionan. Por tal motivo se llevó a cabo el análisis tanto físico como lógico de la red y en base a esto se realizó un rediseño de la red utilizando un software de diseño físico y lógico, mostrando donde se encontrarán los equipos como router, switch, cableado, equipos de cómputo y lugar de cada mesa distribuidos dentro del laboratorio.

Para llevar a cabo la investigación se optó por una perspectiva cuantitativa con un tipo de diseño no experimental ya que solamente se dio una propuesta de mejora de la red tanto físicamente como lógicamente, utilizando las normas correspondientes de instalación de cableado estructurado, la metodología utilizada se basó en la obtención de información mediante la utilización de los instrumentos de recolección de datos como la encuesta y la entrevista, para fundamentar las deficiencias que hay en el laboratorio de cómputo.

PALABRAS CLAVE: análisis, red LAN, rediseño.



Colaboración

Martínez Hernández Mariela Lizeth; Antonio Benito Gaudencio; Iván Hernández Hernández, Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

ABSTRACT: The main objective of this research is to make a proposal to improve the computer laboratory service for the maximum use of a computer network. In the same way, the network structures and topology used for the redesign are analyzed, which are characterized according to the distribution of the workstations.

The problem found in the Higher Technological Institute of Tamazunchale in building E is described, where it apparently has a correct administration of the network, as well as the lack of equipment in its network since several computer equipment does not work. For this reason, both the physical and logical analysis of the network was carried out and based on this, a redesign of the network was carried out using physical and logical design software, showing where the equipment such as router, switch, cabling, computer equipment and place of each table distributed within the laboratory will be located.

To carry out the research, a quantitative perspective was chosen with a type of non-experimental design since only a proposal for improvement of the network was given both physically and logically, using the corresponding standards of structured cabling installation, the methodology used was based on obtaining information through the use of data collection instruments such as the survey and the interview. to substantiate the shortcomings in the computer lab.

KEYWORDS: analysis, LAN, redesign.

INTRODUCCIÓN

Ante la falta de tener una correcta red de computadoras en una institución, organizaciones se han sumado para la implementación de proyectos, en el cual están apoyando con manos de obra y económicamente esto para lograr beneficiarse y acceder a las redes de telecomunicación en el que les permitiría estar comunicados e informados, pero ante la falta de importancia

que se le da al tener una red de computadoras en una institución se han dejado en el olvido, en una publicación de la revista u-GOB menciona que "El acceso y uso de las TIC en localidades rurales e indígenas se vincula principalmente con la falta de infraestructura, deficiencias en los servicios de conectividad, poca capacidad de compra de los dispositivos y carencias respecto a la habilitación digital que limitan su aprovechamiento". [1]

De acuerdo al autor [2] define que una red informática o una red de computadoras es la interconexión de distinto número de sistemas informáticos a través de una serie de dispositivos de telecomunicaciones y un medio físico (alámbrico o inalámbrico).

Por otra parte [3] menciona que una red informática es un conjunto de elementos interconectados o relacionados para el tratamiento de información. El más básico es una computadora típica. Los más complejos son las Redes y sistemas de procesamiento en paralelo. En este término suelen incluirse los elementos físicos, el software, y otros relacionados.

El contar con una red LAN en las instituciones abre el mundo de la información y comunicación dando un paso muy importante en la actualidad, uno más de los proyectos [4] donde a fines de ese mismo año culminó la instalación de la una red de computadoras en un bachillerato que brinda servicio de internet a los docentes y alumnos de esta institución en este proyecto. Para resolver la problemática se optó por llevar primero un diseño de la infraestructura de las redes de computadoras con las que contaban y después una vez que la propuesta se aprobó se llevó a cabo la instalación de la red LAN.

Mediante una publicación [5] describe que en Cataluña (España), presentaban la problemática de que en las instituciones educativas cuentan con las redes de computadoras y equipos de cómputo pero no tienen acceso a internet y por esta razón han dejado de utilizar estos equipos, lo que han hecho varias organizaciones que se dedican a hacer las instalaciones de redes de computadoras es brindarles acceso a internet sin costo de instalación solamente que instituciones brinden los materiales que se necesitan para la instalación, ya una vez teniendo el acceso a internet hacen el presupuesto para hacer el rediseño de la red LAN de computadoras de las instituciones.

Mientras [6] presenta un proyecto en Ecuador donde se implementó una red de computadoras con servicio de datos y voz, el proyecto comenzó desde cero ya que no se tenía ninguna red actual, lo que hizo un poco más fácil llevar a cabo el diseño ya que no se tenía que tomar como base ninguna, se realizó el diseño de la red en un software y posteriormente se llevó a cabo la implementación.

En la investigación [7] al llevar un análisis de los requerimientos de la infraestructura les permitió determinar una solución con los recursos técnicos disponibles y financieramente con costos bajos. La compañía no contaba con una infraestructura de red, el proyecto tuvo varios inconvenientes al realizarlo para poder aplicarlo con los recursos con los que ya contaba la compañía y abaratar costos en los rubros que se pudieran. Al final se dio una propuesta en la cual se hizo la infraestructura de red mediante un plano hecho por Medina la cual utilizaron para la creación de la red LAN de la compañía.

[8] Se encontraron con la problemática de la mala implementación de las redes LAN, esta compañía ya había estado teniendo problemas con la caída de la red, se realizó la revisión de la infraestructura de la red y en base a ello se presentó una propuesta diseñada en un software en donde se veía como se rediseñaría la red y del equipo que se necesitaría, posteriormente se le expuso a la compañía junto con el presupuesto. Al final el proyecto se implementó y se rediseñó la red de computadoras de esta compañía.

En este trabajo se encontró una problemática que la red de computadoras del laboratorio de cómputo con el que cuentan en el edificio E de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales, están en muy mal estado ya que no se les ha dado el correcto mantenimiento a estas redes y por lo tanto se han dejado de ocupar por los alumnos y docentes del plantel. Esto tiene como consecuencia que los equipos con los que cuentan en estos laboratorios se estén volviendo obsoletos y se estén deteriorando sin sacarle el provecho que nos pueden llegar a ofrecer estos equipos. Lo que se puede apreciar a simple vista es que la instalación de red con la que cuenta actualmente está desordenada y hay muchos cables colgando en los lugares de trabajo, además de que no están correctamente instalados de acuerdo con la norma del cableado estructurado, por otra parte, como se han dejado de utilizar estos equipos se encuentran en mal estado ya que muchos de estos les hace falta darle un mantenimiento.

De acuerdo al estándar de cableado estructurado definen la forma de diseñar, construir y administrar un sistema de cableado que es estructurado, lo que significa que el sistema está diseñado en bloques que tienen características de rendimiento El Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale cuenta con una infraestructura de red, la cual no está bien instalada ya que el laboratorio de cómputo se puede observar que el cableado de red esta desordenado lo cual causa que estos lugares de trabajo tengan un mal aspecto por la falta de organización del cableado de red, además de que no cuentan con los materiales y equipos adecuados para que el cableado este correctamente instalado. Esto ocasiona que tanto alumnos como do-

centes no utilicen los equipos de cómputo con las que cuentan en estas áreas ya que como estos equipos ya no se les dio el mantenimiento adecuado en cuanto a la instalación de la red se han quedado obsoletos y no se les ocupa en lo más mínimo.

MATERIAL Y MÉTODO

Enfoque metodológico

La investigación fue de tipo cuantitativo ya que en esta modalidad permite revisar y diagnosticar el estado actual de la red LAN de la institución y los procesos tecnológicos con los cuales se desarrollan las actividades académicas, investigativas y administrativas. Se procederá a analizar el estado inicial de la red, posteriormente se empezará a obtener los requerimientos y restricciones de la red y determinar soluciones viables.

El diseño es no experimental ya que en la investigación no se pretende afectar las variables, sino solamente observar y conocer las necesidades que se tienen y buscar las alternativas para mejorar el funcionamiento del laboratorio.

El alcance de la investigación es descriptivo, ya que en base a las estadísticas y a la presentación de una alternativa en base a un diseño en un software se determinará si la investigación puede llegar a una implementación, es por ello que en esta investigación se evalúan y recolectan los datos de las necesidades que tienen los alumnos ya que son ellos que utilizan el laboratorio.

Universo o Población

La población que se tomó en cuenta para recabar información y/o detectar problemáticas fueron: alumnos de tercero y quinto semestre, en total de los dos semestres que se tomaron en cuenta hay 75 alumnos que cursan la carrera de ingeniería en sistemas computacionales y que han tenido acceso al laboratorio de cómputo del edificio E.

Muestra

Para llevar a cabo el muestreo y determinar el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula para poblaciones finitas. Obteniendo una muestra de 63 personas a las cuales se les aplicarían las encuestas, como se eligió a los alumnos de tercero y cuarto semestre se llevó a cabo la estratificación de la muestra ya que eran 4 grupos con diferentes cantidades de alumnos.

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad \text{Ec. (1)}$$

Para sacar el tamaño de la muestra se ocupó la anterior formula.

$$\frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 75}{0.05^2 * (75 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 62.8863$$

Tabla 1 Estratificación por grupos

Grupos	Total de alumnos	Factor de estratificación	Alumnos a encuestar
3 INT 1	20	0.84	17
3 INT 2	21	0.84	18
5 INT 1	23	0.84	19
5 INT 2	11	0.84	9
Total de alumnos encuestados			63

Fuente: Elaboración propia (2020).

Técnicas e instrumentos a utilizar

Encuesta

Se realizó una encuesta a los alumnos de tercero y quinto semestre para conocer que experiencias han tenido al utilizar el laboratorio de cómputo, que es lo que la hace falta al laboratorio en general para poder conocer las necesidades de los alumnos que ya han utilizado el laboratorio. La encuesta consta de 10 preguntas las cuales 5 son de opción múltiple y 5 de respuesta simple de un si o un no.

Entrevista

Se realizó una entrevista de tipo no estructurada, se le aplico al encargado del laboratorio de cómputo con la finalidad de conocer más acerca del laboratorio como con que equipos cuenta el laboratorio de cómputo el diagrama en detalle de la red actual y la configuración de los equipos que la componen la red LAN.

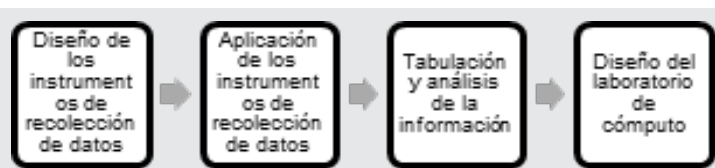


Figura 3. Módulo de desarrollo SIM7000G Breakout LTE Kit.

Fuente: Recuperado de [17].

Procesamiento de la información

Para poder realizar el procesamiento de la Información obtenida se siguieron las siguientes fases.

Todo el material incluyendo el texto, las ilustraciones y los gráficos se deben mantener dentro de un área de impresión de 17,5 cm ancho por 23 cm alto. No escriba, nada fuera de ésta área.

Fase 1. Diseño de los instrumentos de recolección de datos

Se inició con la elaboración de los instrumentos de recolección de información de acorde al diseño, tipo y alcance de la investigación, los cuales fueron dos tipos de instrumentos que se elaboraron para la recolección de datos.

Una encuesta dirigida a los alumnos para conocer las necesidades que ellos tienen al acudir al laboratorio de cómputo y conocer un poco el punto de vista que tienen acerca del laboratorio, además de una entre-

vista dirigida al encargado del laboratorio de cómputo para conocer más acerca de los equipos su instalación y detalles de la red.

Fase 2. Aplicación de los instrumentos de recolección de datos

Se aplicaron las encuestas a los alumnos de tercero y quinto semestre para obtener información de lo que son las necesidades que ellos tienen al usar el laboratorio de cómputo, y se aplicó la encuesta al encargado del laboratorio de cómputo para conocer un poco más de cuantos equipos cuentan, como está estructurado entre otras cosas.

Fase 3. Tabulación y análisis de la información

Después de la aplicación de los instrumentos se llevó a cabo el análisis de la información obtenida y se comenzó con la tabulación de los datos obtenidos en las encuestas y se llevó a cabo el informe de los datos obtenidos en la entrevista realizada.

Fase 4. Diseño del laboratorio de cómputo

Una vez obtenido las necesidades que se tienen y los detalles acerca de la red del laboratorio se comenzó con la elaboración del diseño tanto físico como lógico del laboratorio.

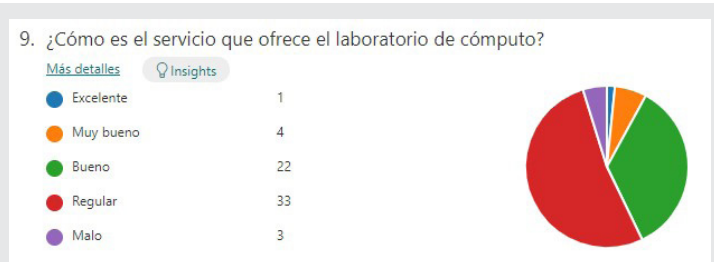


Figura 2. Evaluación del servicio.

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

El 52% dice que el servicio que ofrece el laboratorio es regular, el 35% que es bueno, el 6% que es muy bueno, el 5% que es malo y el 2% que es excelente, con estos datos obtenidos se puede notar que el laboratorio de cómputo ofrece un servicio ni tan bueno ni tan malo y pues que el servicio carece de algunas cosas es por eso que no brinda un excelente servicio.

Resultado 2: Informe de la entrevista

Se realizó la entrevista al encargado del laboratorio de cómputo para poder conocer un poco más acerca del laboratorio.

El laboratorio cuenta actualmente con 30 equipos de cómputo registrados en la bitácora de los equipos que hay en el laboratorio, del total de estas computadoras solamente funcionan 25 equipos correctamente de estos 25 equipos de cómputo algunos no les funciona bien ya sea el teclado o el mouse pero si encienden y se pueden utilizar por los alumnos, los otros 5 equipos no funcionan

ya que ninguna de ellas enciende, los equipos de cómputo están distribuidos en mesas y todos están conectados a una red LAN para poder llevar su control de acceso y para brindar la conexión a internet, estos equipos están conectados con una topología de estrella ya que es la que más se les facilita a los encargados de la red al momento de que surge una falla es más fácil poder corregirla. Al laboratorio de cómputo se le da el mantenimiento cada 6 meses y lo hacen en temporadas de vacaciones antes de que los alumnos regresen a clases, sin embargo, hace 9 meses que no se le ha dado mantenimiento debido la contingencia que se está pasando en el país.

El encargado

mencionó que el laboratorio es más utilizado por aquellos alumnos que no cuentan con una laptop propia y por los alumnos que no cuentan con conexión a internet en casa, pero el servicio de internet con el que cuenta la institución no es suficiente ya que son muchos los usuarios que demandan el servicio de internet y por tal motivo es que los equipos de cómputo del laboratorio a veces no cuentan con internet o es limitado.

Resultado 3: Diseño físico del laboratorio de cómputo

Como se puede apreciar en las siguientes imágenes se llevó a cabo el diseño físico del laboratorio de cómputo en donde se colocaron 16 equipos de cómputo del lado izquierdo y 15 del lado derecho además de un rack para concentración del cableado de la red, y conexiones de tomas de cables de red poniendo también las canaletas en donde se pasarán los cables de red, considerando las normas de instalación de una red.

Una vez terminado el diseño físico se hizo el diseño lógico de la red utilizando el simulador de cisco packet tracer, se tomó como base el diseño ya realizado anteriormente del diseño físico para poder distribuir los equipos en él, se utilizó un direccionamiento IP para cada equipo y se configuro tanto los equipos como los switches y el router, a continuación, se muestra como quedo distribuido la red lógica y se hicieron pruebas para poder probar su correcto funcionamiento.



Figura 3 Diseño físico del laboratorio

Fuente: Elaboración propia (2020).

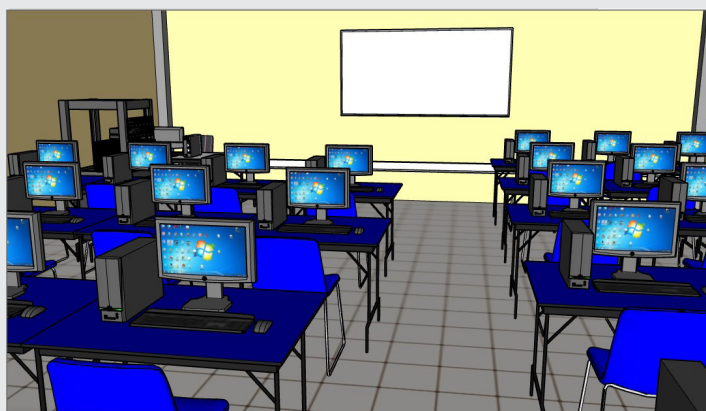


Figura 4 Diseño físico del laboratorio
Fuente: Elaboración propia (2020).

Resultado 4: Diseño lógico del laboratorio de cómputo.

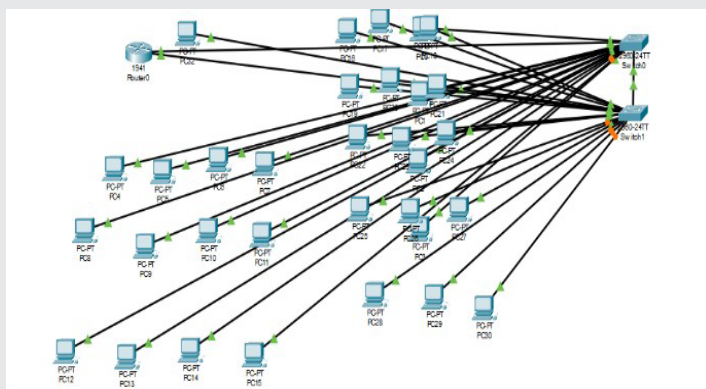


Figura 5 Diseño físico del laboratorio
Fuente: Elaboración propia.

AGRADECIMIENTOS

A Froylán Bautista Castro, en el desarrollo de este trabajo, así como a los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale, que participaron aportando comentarios y/o sugerencias.

CONCLUSIONES

Como se pudo observar al llevar a cabo el proyecto se puede concluir que si es necesario llevar a cabo la reestructuración de la red ya que existen necesidades que no se logran cumplir, y que con el diseño presentado se puede ver que se pueden implementar más equipos de cómputo y si se puede llevar a cabo su implementación, con el diseño ya terminado se puede realizar la implementación mucho mejor ya que una vez teniendo el plano de donde ira cada equipo y donde estará el cableado es mucho más mejor la implementación, además de que se llevó el diseño lógico que a veces es un poco el más complicado porque se tiene que hacer en cada equipo el direccionamiento IP de cada equipo, en el simulador ocupado se pueden hacer pruebas para poder ver si el funcionamiento de la red es adecuada

y además de ver como se podrán configurar todos los equipos implementados.

Las condiciones físicas del lugar son un poco malas ya que al llegar al laboratorio se puede observar que no está bien organizado porque hay muchos cables sueltos o mal acomodados, además de que algunos equipos no funcionan correctamente o les hacen falta el ratón o el teclado.

Las necesidades que tiene la red LAN deben ser solucionadas y obtener así, una comunicación eficaz en los laboratorios de computación, salas docentes y áreas administrativas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] D. Navarro, «Apropiación social y comunitaria para la implementación de redes de computadores en zonas rurales.,» 2016.

[2] J. Vega., «Diccionario ley derecho.org,» 24 abril 2015. [En línea]. Available: <https://diccionario.leyderecho.org/incomunicacion/>.

[3] L. Espinoza Reyes, «Wordpress,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.redusers.com/noticias/que-es-una-red-informatica/>.

[4] N. Santolari, «startups colaborativas. Obtenido de,» 19 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://startupscolaborativas.com/guifi-net-mayor-red-telecomunicaciones/>. [Último acceso: 2020].

[5] C. Alvarado., ««Guaitecas. Vecinos de Guaitecas celebran implemetacion de red LAN en la Institución,» [En línea]. Available: «Guaitecas. Vecinos de Guaitecas celebran implemetacion de red LAN en la Institución,» 2015. [En línea]. Available: (2015). . [Último acceso: 2020].

[6] X. F. LÓPEZ ANDRADE, «REDISEÑO DE LA RED CON CALIDAD DE SERVICIOS PARA DATOS Y TECNOLOGÍA DE VOZ SOBRE IP EN EL ILUSTRE MUNICIPIO DE AMBATO.,» Ecuador.

[7] J. Medina, « Diseño e implementación de una Red Lan para la EmpresaPalinda. Ecuador.,» Ecuador, 2015.

[8] M. R. & G. V. J. A. Segura Garzon, «Propuesta para el diseño y plan de implementacion del laboratorio de redes de computadores y seguridad.,» 2012.

[9] O. M. Rios, «Red Logica.,» 2016. [En línea]. Available: <http://files.clasesredesytelecomunicaciones.webnode.com.co/200000347c8b09c9ab6/Telefonia%20Resumen.pdf>.



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Red neuronal convolucional para la clasificación de piezas mecánicas usando un sistema de visión artificial



Colaboración

Ibarra Bonilla Mariana Natalia; Eusebio Grande Raul; López Velázquez Julio Ivan, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: El presente artículo describe el proceso de entrenamiento de una red neuronal convolucional (CNN) para la identificación de piezas mecánicas, que se utilizan comúnmente en los procesos industriales. El entrenamiento de la CNN se realizó con imágenes capturadas de una cámara Intel RealSense utilizando las herramientas y librerías de Python, Tensor Flow y Keras completando 5 épocas de entrenamiento. La prueba de evaluación se ejecutó sobre un prototipo a escala, con fines didácticos, mediante una prueba controlada que simula un ambiente industrial típico, obteniendo un porcentaje general de precisión de 90.62%. Este trabajo responde a las aplicaciones de inteligencia artificial realizadas para su aplicación en un brazo robótico colaborativo educativo.

PALABRAS CLAVE: clasificación, red neuronal convolucional, visión por computadora.

ABSTRACT: This paper describes the convolutional neural network (CNN) training process for the identification of mechanical pieces, which are commonly used in industrial processes. The CNN training was carried out with images captured from an Intel RealSense camera using the toolboxes and libraries of Python, TensorFlow and Keras completing 5 training epochs. The evaluation test was executed on a scale prototype, for didactic purposes, through a controlled test that simulates a typical industrial environment, obtaining a general accuracy percentage of 90.62%. This work responds to the artificial intelligence applications made for its future application in an educational collaborative robotic arm.

KEYWORDS: classification, convolutional neural network, computer vision.

INTRODUCCIÓN

Los robots colaborativos (CoBots) son robots que pueden trabajar de forma segura junto con trabajadores humanos. Los CoBots representan una forma de tecnología de automatización avanzada en la fabricación y se espera que se conviertan en estándar en los sistemas de producción. Tienen el potencial de transformar los procesos de fabricación y ensamblaje. Los primeros robots colaborativos

se instalaron en la industria hace poco más de diez años, pero cada vez son más los robots instalados en la industria, y hoy en día estos robots son pieza clave para el desarrollo de la industria 4.0 [1].

Hasta hace poco, los Cobots no estaban contemplados en la educación de ingeniería, sin embargo, a medida que el uso de estos aumenta en la industrial se ha presentado la necesidad de incluir en los programas educativos aplicaciones con Cobots [2, 3]. Por esto, es importante acercar a los estudiantes a las tecnologías que se manejan para aplicaciones con Cobots e interesarlos en la investigación tecnológica, de tal manera que no solo sean operadores, sino que cumplan con las características de un diseñador tecnológico.

Por esta razón se ha vuelto muy importante que desde el aprendizaje se resalte el impacto que tienen las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y aplicaciones de inteligencia y visión artificial para estudiantes y docentes. En la búsqueda de ese objetivo, el presente trabajo presenta el desarrollo del entrenamiento de una red neuronal convolucional, conocida como CNN por sus siglas en inglés de Convolutional Neural Network, para la clasificación de piezas mecánicas: tornillos, tuercas y una banda transportadora, que corresponde a una de las típicas actividades industriales [4, 5].

Cabe mencionar que este trabajo corresponde a una de las etapas de desarrollo de un proyecto de investigación que pretende implementar aplicaciones típicas de los robots colaborativos educativos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Red Neuronal Convolucional

Una red neuronal artificial, conocida como ANN por sus siglas en inglés, Artificial Neural Network, es un modelo computacional, inspirado en la función de las redes neuronales biológicas, el cual está compuesto por elementos de procesamiento (neuronas) y múltiples conexiones entre ellos. Las redes multicapa son capaces de aprender patrones complejos y de gran dimensión a partir de un gran número de datos, por lo que son una buena opción para el reconocimiento de imágenes, en especial las redes neuronales convolucionales, CNN, que son una red multicapa que tiene gran aplicación práctica [6, 7, 8, 9]. La arquitectura de una CNN incluye multicapas compuestas principalmente por un banco de filtros llamados kernels, una capa de convolución, una función de activación no lineal y capa de agrupación o submuestreo (pooling). Cada etapa tiene como objetivo representar las características como conjuntos de matrices llamadas mapas de características. El proceso de la operación de la convolución, la cual se incluye en al menos una de las capas de una CNN, se visualiza en la Figura 1.

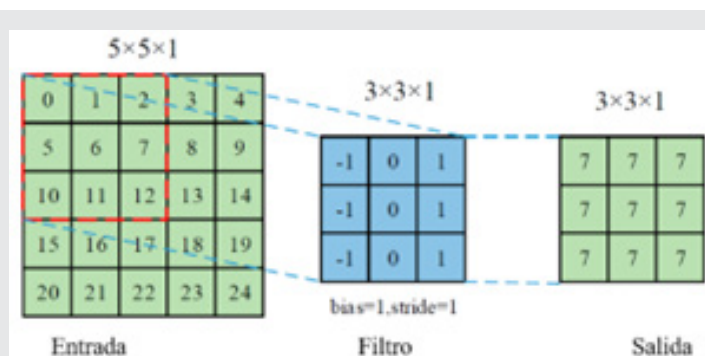


Figura 1. Proceso de la operación de la convolución.
Fuente: Recuperado de [10].

Un kernel es posicionado en la esquina superior-izquierda de la imagen, los valores de los pixeles cubiertos son multiplicados por los valores correspondientes del kernel, y los productos son sumados y el bias es sumado al final. El kernel es desplazado un pixel y el proceso se repite hasta que se filtren todas las posibles posiciones en la imagen [10].

Una vez que el banco de filtros produzca la salida se aplica una función de activación para producir los mapas de activación, donde solo las características activadas se transfieren a la siguiente capa. La función de activación más utilizada para la capa de convolución es ReLU, abreviación del inglés Rectified Linear Unit function. Esta es una función semi-rectificada cuya curva característica se presenta en la Figura 2 y se define matemáticamente como:

$$f(x) = \max(0, x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ x & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad \text{Ec. (1)}$$

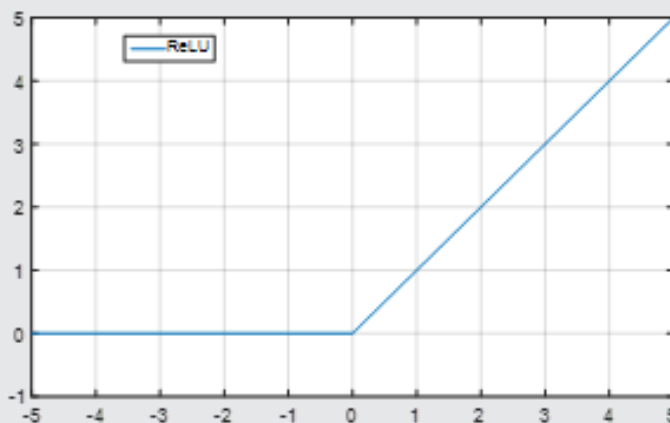


Figura 2. Representación gráfica de la función de activación ReLU.

Fuente: Elaboración propia.

La capa pooling es utilizada para reducir las dimensiones, con el objetivo de disminuir los tiempos de procesado, pero reteniendo la información más importante. La más usada es el máximo (maxpooling) o el promedio (average pooling). El maxpooling con-

siste en dividir la imagen de entrada en varias regiones rectangulares, según el tamaño del filtro, y generar el valor máximo por cada región. El average pooling realiza un proceso similar, pero la salida es el promedio de cada región. El proceso de la operación pooling se representa en la Figura 3.

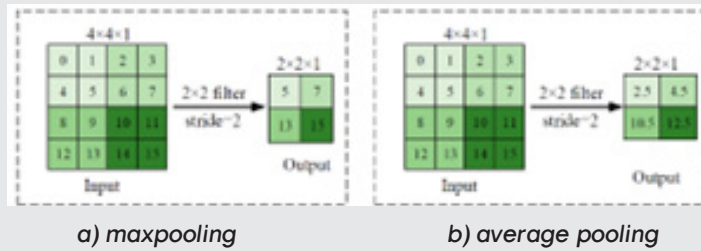


Figura 3. Proceso de la operación pooling.

Fuente: Recuperado de [10].

Arquitectura propuesta de la CNN

La arquitectura propuesta se presenta en la Figura 4 y consiste en una CNN con 4 capas convolucionales con función de activación ReLU y maxpooling entre cada capa de convolución. Las imágenes de entrada son 120x120 píxeles. Durante la primera convolución se aplican 32 filtros y con maxpooling los datos de cada filtro se dividen a la mitad quedando de 60x60, en la segunda capa de convolución se extraen 64 características y al aplicar la capa maxpooling los 64 filtros se reducen en tamaños de 30x30 cada uno, en la tercera capa de convolución se extraen 128 filtros y al aplicar maxpooling los datos de cada filtro se reducen a 15 cada uno, la última capa de convolución se aplican 256 filtros y al aplicar la capa maxpooling los datos se reducen a 7x7 en cada uno de los 256 filtros resultantes. Posteriormente, los datos se aplanan dando lugar a un arreglo unidimensional con los datos provenientes de la capa antecesora, en la siguiente capa se configuran 384 neuronas completamente conectadas con función de activación ReLU y, por último, en la última capa se configuraron 3 neuronas conectadas a una función de activación Softmax, las cuales entregarán las probabilidades de las tres clases a identificar: banda transportadora, tuerca y tornillo.

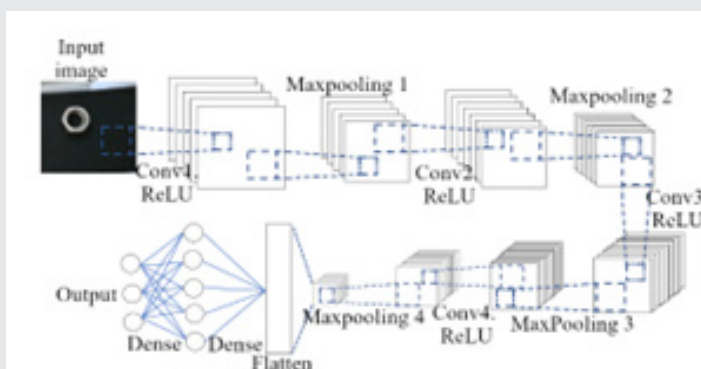


Figura 4. Arquitectura de la CNN propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes de entrada con las que se entrenó el modelo de la red neuronal fueron adquiridas por medio de una cámara Intel RealSense, la cual entrega imágenes RGB 1920x1080 píxeles e imágenes de profundidad estéreo de 1280x720 píxeles, sin embargo, únicamente se utilizó un segmento de 120x120 píxeles de las imágenes RGB, el cual está centrado en la imagen original. La Figura 5 presenta un ejemplo de una imagen adquirida para el entrenamiento de la CNN, la cual se resalta en con un recuadro en color azul, en la imagen también se observa una sección de la banda transportadora y la tuerca sobre la misma. Una vez adquiridas las imágenes, estas son normalizadas a valores entre 0 y 1, dependiendo del valor del pixel original en cuyo caso podría estar entre 0 y 255, este último paso simplemente se realiza para un mejor manejo de los datos durante el entrenamiento de la red neuronal. En total se adquirieron 534 imágenes entre tornillos, tuercas y la banda transportadora, de las cuales el 80% se usaron para el entrenamiento de la red neuronal y el 20% para la validación.

Durante la etapa de entrenamiento de la CNN, de manera adicional se aplicó una función dropout o dilución para omitir aleatoriamente neuronas. La función se configuró al 50%, lo que significa que de manera aleatoria se desconectarán el 50% de las neuronas configuradas en cada batch, esto con el objetivo de evitar que la red neuronal memorice algunos caminos al reconocer los objetos y en su lugar se obliga a crear un modelo robusto que evite el sobreajuste.



Figura 5. Ejemplo de la adquisición de una imagen para el entrenamiento.

Fuente: Elaboración propia.

El entrenamiento y validación de la CNN se realiza off-line usando las herramientas y librerías de Python, Tensor Flow y Keras. Las Figuras 6 y 7 presentan las gráficas de precisión y la función de

pérdida obtenidas durante cada época de entrenamiento y validación. La precisión promedio durante las 5 épocas es de 0.889.

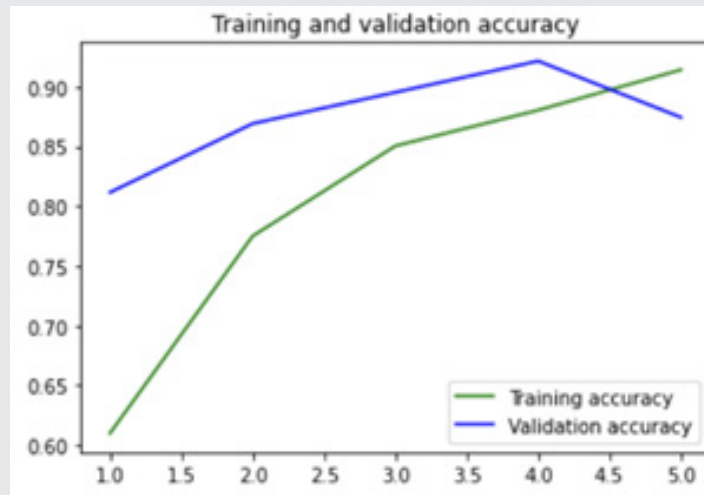


Figura 6. Gráfico de precisión obtenido durante el entrenamiento y validación en 5 épocas.
Fuente: Elaboración propia.

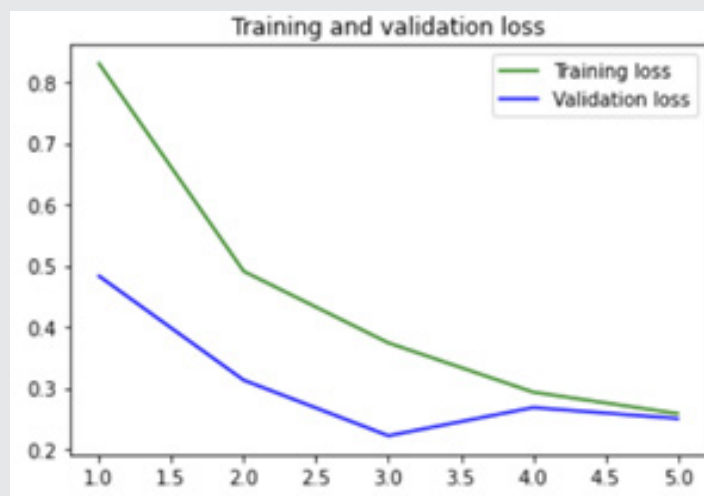


Figura 7. Gráfico de la función de pérdida obtenido durante el entrenamiento y validación en 5 épocas.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Para la validación de resultados se diseñó una prueba on-line dentro de un ambiente controlado del laboratorio de Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Atlixco. La prueba consistió en montar el prototipo a escala de una banda transportadora y una base metálica para el montaje fijo de la cámara Intel RealSense. La cámara se encuentra a 30 cm de altura del suelo y a 20cm de la banda transportadora, tal como muestra el esquema de diseño asistido por computadora (CAD) de la Figura 8. En la Figura 9 se visualiza el montaje real en el laboratorio del prototipo de la banda transportadora, cuyo movimiento será ejecutado por un motorreductor de corriente directa controlado por un microcontrolador PIC18F4550 embebido en una tarjeta de desarrollo Miuva [11].

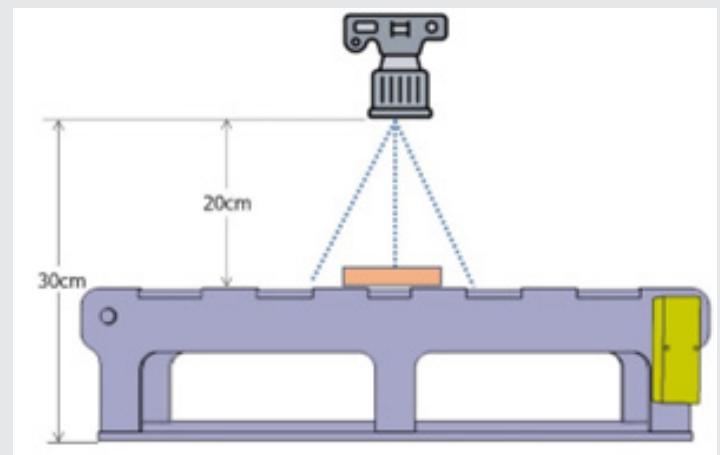


Figura 8. Esquema del prototipo de la banda transportadora y montaje de la cámara.
Fuente: Elaboración propia.

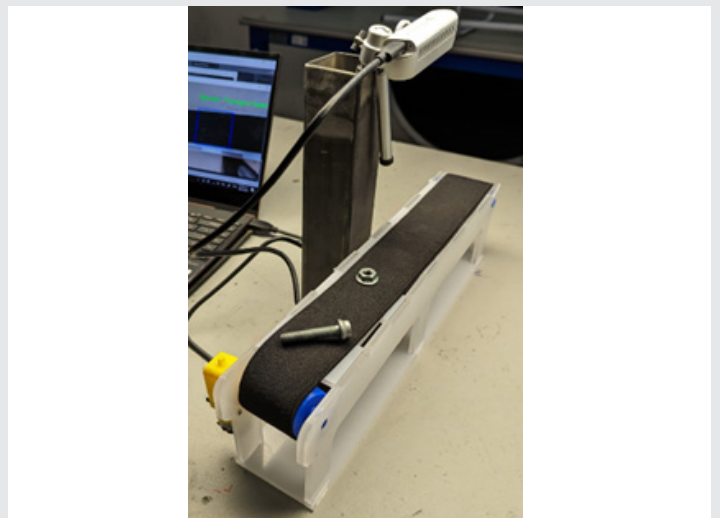


Figura 9. Montaje real del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.

La cámara está conectada por USB a una PC que ejecuta Python, la cual a su vez se comunica por Bluetooth al microcontrolador. El microcontrolador controla el encendido de dos leds, los cuales indican el tipo de pieza identificada, luz azul para los tornillos, luz roja para tuerca y en caso de la banda transportadora ninguna luz enciende; a su vez también se conecta una pantalla LCD para visualización del resultado de la identificación de la pieza.

Entonces, la prueba para medir la capacidad de la CNN para identificar las 3 clases consistió en colocar sobre la banda los tornillos y tuercas, completando un total de 191 imágenes capturadas, con un muestreo promedio de 1.5 s. Del total de imágenes, 61 corresponden a ausencia de piezas, es decir a la banda transportadora, 69 a tornillos y 61 a tuercas. Los resultados de la clasificación se presentan en la matriz de confusión de la Tabla 1, donde la clase 0 corresponde a la banda transportadora, la 1 los tornillos y la 2 las tuercas. El porcentaje general de

precisión durante esta prueba fue del 90.62%. Las Figuras de la 10 a la 13 presentan imágenes capturadas durante la ejecución y se observa que desde la ventana de visualización en Python se imprime el tipo de pieza a la que corresponde.

Tabla 1. Matriz de confusión del porcentaje de precisión.

Comparación de resistencias a la tracción	
Resistencia a la tracción original	Resistencia a la tracción mínimo detectado
Tubería: 325MPa (47ksi)	290 (42ksi)
Domos: 620MPa (90ksi)	580 (84ksi)

Fuente. Elaboración propia.



Figura 12. Detección de un tornillo sobre la banda transportadora. Fuente: Elaboración propia.

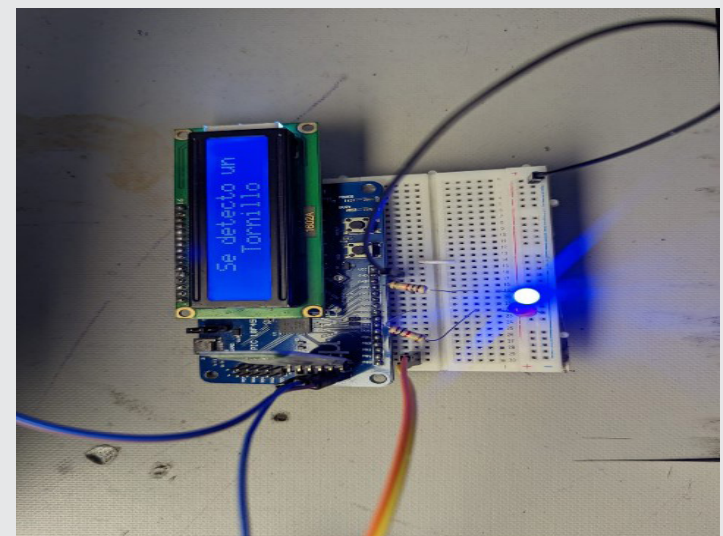


Figura 13. Tarjeta de control de la banda transportadora que muestra por medio de un display y una luz indicadora que se ha detectado un tornillo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Detección de banda transportadora sin piezas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Detección de una tuerca sobre la banda transportadora. Fuente: Elaboración propia.

Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos en la prueba de clasificación demuestran que la red neuronal fue capaz de identificar correctamente 53 de las 69 imágenes que presentaban un tornillo y 58 de las 61 imágenes con tuercas; mientras que las 61 imágenes con ausencia de piezas fueron identificadas en su totalidad. De acuerdo con esto, podemos calificar como satisfactorio el desempeño de la CNN. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, esta prueba se realizó bajo un ambiente controlado con las condiciones óptimas de iluminación y con un prototipo a escala, por lo que consideramos necesario llevar estas pruebas a un entorno real, donde tanto las condiciones de iluminación como la posición de la cámara sean variables.

Con la finalidad de mejorar el porcentaje de clasificación de la CNN, actualmente se está trabajando en crear una

base de datos que contenga como mínimo 1000 imágenes que integren diferentes modelos de tornillos y tuercas, fotografiadas con diferentes fondos y luminosidad. Esto es importante, pues se pretende que la cámara se encuentre instalada en el gripper de un robot colaborativo móvil, cuyo diseño está basado en el MyCobot-Robot de la empresa Elephant Robotic [12], pero que incorpora un sistema de engranaje planetarios en las articulaciones. El esquema CAD se visualiza en la Figura 14 y la construcción del robot se encuentra actualmente en progreso.



Figura 14. Modelo CAD del robot colaborativo en SolidWorks con engranajes planetarios en las articulaciones.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se presentó el proceso de entrenamiento y evaluación del desempeño de una red neuronal convolucional (CNN) para clasificación de piezas mecánicas. Los resultados presentados son satisfactorios, alcanzando un porcentaje del 90.62% de precisión durante la prueba de evaluación, ya que se puede considerar que el número de imágenes y épocas durante el entrenamiento fue reducido.

Si bien el proyecto aún está en etapa de desarrollo, y la CNN corresponde solo a una la etapa del sistema de visión de un robot colaborativo, nuestro objetivo es crear un ecosistema de robots en que los estudiantes puedan ejecutar aplicaciones didácticas de inteligencia artificial, que los acerque a la investigación tecnológica, y así cumplan con las características de un diseñador tecnológico, que no solo aplique, sino que seleccione la tecnología, la implemente y resuelva errores.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Escobar Gómez, D. A., Ibarra Jácome, O.A. (2020). "Diseño e implementación de una celda colaborativa robotizada mediante robots móviles y humanoides para clasificación de objetos". Tesis Licenciatura, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.

[2]. P. Poór, T. Broum and J. Basl, "Role of Collaborative Robots in Industry 4.0 with Target on Education in Industrial Engineering," 2019 4th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC), Tokyo, Japan, 2019, pp. 42-46, doi: 10.1109/CRC.2019.00018.

[3]. Ananias, Estevão; Gaspar, Pedro Dinis. A Low-Cost Collaborative Robot for Science and Education Purposes to Foster the Industry 4.0 Implementation. *Applied System Innovation*, 2022, vol. 5, no 4, p. 72.

[4]. Mosquera, Roberto Encarnación. Diseño de un algoritmo de enjambre para el trabajo colaborativo de mini robots para recoger y clasificar piezas de diferentes formas y colores. Propuesta de semillero de investigación SYNAP. En *Memorias de Congresos UTP*. 2017. p. 218-223.

[5]. Ortega Sanz, D., Gómez Muñoz, C.Q., García Márquez, F.P. (2022). Convolutional Neural Networks as a Quality Control in 4.0 Industry for Screws and Nuts. In: Suma, V., Baig, Z., Kolandapalayam Shanmugam, S., Lorenz, P. (eds) *Inventive Systems and Control. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 436. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1012-8_2.

[6]. Naranjo-Torres, José, Marco Mora, Ruber Hernández-García, Ricardo J. Barrientos, Claudio Frides, and Andres Valenzuela. 2020. "A Review of Convolutional Neural Network Applied to Fruit Image Processing", *Applied Sciences*, vol. 10, no. 10: 3443. <https://doi.org/10.3390/app10103443>

[7]. T. Guo, J. Dong, H. Li and Y. Gao, "Simple convolutional neural network on image classification," 2017 *IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis (ICBDA)*, Beijing, China, 2017, pp. 721-724, doi: 10.1109/ICBDA.2017.8078730.

[8]. Wagle, Shivali Amit, R. Harikrishnan, Sawal Hamid Md Ali, and Mohammad Faseehuddin. 2022. "Classification of Plant Leaves Using New Compact Convolutional Neural Network Models", *Plants*, vol. 11, no. 1: 24. <https://doi.org/10.3390/plants11010024>.

[9]. Gowrishankar J., et al. "Convolutional neural network classification on 2d craniofacial images". *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 2020, vol. 13, no 1, p. 1026-1032.

[10]. LU, Jinzhu; TAN, Lijuan; JIANG, Huanyu. Review on convolutional neural network (CNN) applied to plant leaf disease classification. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no 8, p. 707.

[11]. INTESC Electrónica y embebidos (1 de agosto de 2023). Tarjeta de desarrollo Miuva: manual de usuario. [On line] Obtenida de: <https://intesc.mx/productos/tarjeta-de-desarrollo-miuva/>.

[12]. Elephant Robotics (1 de agosto de 2023). MyCobot280 [On line] Obtenida de: <https://www.elephantrobotics.com/en/mycobot-en/>.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Algoritmo de control para máquina grabadora de placas utilizadas en la decoración de pantalón de mezclilla

RESUMEN: En el presente trabajo, se realiza la propuesta para el desarrollo de un sistema de cómputo para el control de una máquina para el grabado de placas utilizadas en la decoración de pantalón confeccionado en mezclilla; la problemática se sitúa en la región de Teziutlán Puebla, lugar donde la principal industria es la de la confección de prendas de exportación. La propuesta consiste en el desarrollo de un algoritmo de control para un robot cartesiano de tres grados de libertad con la finalidad de conseguir el grabado de moldes utilizados en el área de dry process, que es el proceso donde mediante el lijado a la prenda se le imprimen las figuras decorativas. Para lograr el objetivo de calcular las trayectorias, es preciso tratar la imagen que puede ser tomada desde un archivo o directamente de la cámara, que se encuentra situada sobre el área de trabajo de la máquina, a la imagen capturada se le aplica el filtro Gaussiano, posteriormente se obtiene la imagen binaria invertida, se segmenta y con estos datos se obtienen las coordenadas de los píxeles con las cuales tras una transformación matemática, se generan las trayectorias y se transcriben a código G que es el protocolo de comunicación establecido para las máquinas de control numérico. Las pruebas desarrolladas muestran que el algoritmo es capaz de trazar las trayectorias en tres dimensiones para realizar el grabado de la citada placa al molde.

PALABRAS CLAVE: Filtro Gaussiano, Código G, Robot cartesiano, Open CV, Python.



Colaboración

Alfredo Carrasco Aráoz; Jorge Rivera Flores, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

ABSTRACT: The present work is carried out the proposal for the development of a computer system for the control of a machine for the engraving of plates used in the decoration of pants made of denim, the problem is located in the region of Teziutlán Puebla, place where the The main industry is the manufacture of garments for export. The proposal consists of the development of a control algorithm for a Cartesian robot with three degrees of freedom in order to achieve the engraving of molds used in the dry process area, which is the place where the garment is printed by sanding. decorative figures. In order to achieve the objective of calculating the trajectories, it is necessary to treat the image that can be taken from a file or directly from the camera, which is located on the work area of the machine. The Gaussian filter is applied to the captured image later. the inverted binary image is obtained, the image is segmented with the segment data, the pixel coordinates are obtained with which, after a mathematical transformation, the trajectories are generated and transcribed into G code, which is the communication protocol established for the machines of numerical control. The tests developed show that the algorithm is capable of tracing the trajectories in three dimensions to carry out the engraving of the aforementioned mold plate..

KEYWORDS: Gaussian Filter, G Code, Cartesian Robot, Open CV, Python.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria requiere de un alto nivel de calidad de los productos, el reto hoy en día consiste en producir en menor tiempo para abaratar los costos de producción; debido a esto, la industria ha decidido modernizarse. Debido a que la mano de obra es afectada por di-

ferentes factores (cansancio, temperatura, por citar algunos) su confiabilidad no es óptima, por lo que es necesario utilizar tecnologías que puedan realizar el análisis de los productos finales, esta tecnología se denomina visión artificial y se inició en la década de 1960, desde entonces ha avanzado hasta convertirse hoy en día en la herramienta más utilizada en el control de calidad final de los productos [1].

La visión artificial o también conocida como visión por computadora, consiste en simular los procesos visuales del hombre y analizarlos por medio de un cerebro al igual que lo hacen los seres humanos. Una máquina puede, utilizando una cámara web, captar imágenes y enviarlas a un procesador, listo para analizarlas. Aunque en esencia el funcionamiento parece simple, la tarea de identificar desde la cámara, un objeto específico, con el procesador, para que sea elegido por seleccionador, resulta demandante en su programación [2].

Para realizar la clasificación de las características de las imágenes captadas por la visión artificial, se recurre a algoritmos de clasificación con base a las redes neuronales artificiales que complementan el uso de visión artificial. El Perceptrón Multicapa, pertenece a los modelos de las RNA (Redes Neuronales Artificiales), y debido a su arquitectura son usadas comúnmente en técnicas de visión artificial para la clasificación y segmentación de imágenes [3] [4] [5] [6] [7].

Para lograr la tecnificación de la industria de la confección, esta ha tenido que recurrir a tecnologías desarrolladas fuera de las fronteras mexicanas, lo que le ha permitido desarrollar sus procesos de producción; con esta práctica, el implementar equipos de vanguardia, trae consigo elevados costos debidos a la importación.

Para mitigar este problema, la solución es el desarrollo de tecnologías propias utilizando los recursos con los que cuenta el país. El objetivo del presente trabajo, es realizar el diseño de un sistema que tenga la capacidad de grabar placas que sirven de moldes para realizar la decoración de pantalones confeccionados en tela de mezclilla.

En el proceso de la confección del pantalón de mezclilla, existen tareas que para realizarlas es preciso se empleen útiles como plantillas, guías, boquillas, por citar algunos.

Dentro del área de lijado de pantalón, es necesario realizar moldes, también llamados placas, para que cuando se lije el pantalón, se marque en él la decoración Figura 1, que dentro del argot se conocen como bigotes, que son ejecutados tanto al frente como en la parte posterior de la referida prenda.



Figura 1. Muestra la decoración en la prenda realizada mediante el proceso de lijado.

Fuente Elaboración propia 2023.

Para realizar los moldes, se utiliza como base una placa Figura 2 de acrílico de 6 mm de espesor, en cuya superficie se adhiere un material llamado tesamol, este material consiste de una espuma sintética que permite a los operarios moldearla mediante empleo de lija.

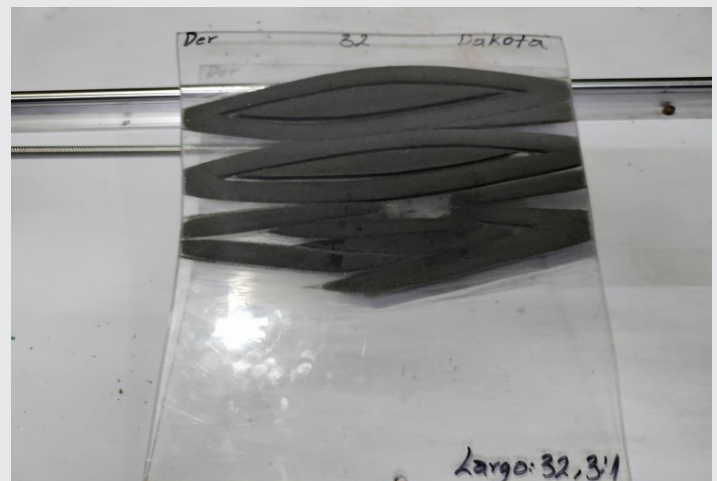


Figura 2. Placa molde utilizada para la decoración de las prendas de mezclilla.

Fuente: Elaboración propia 2023.

La referida placa se realiza a partir de una muestra que se emplea como estándar, generalmente es una prenda, aunque en ocasiones es una imagen de la prenda a lijarse.

En la fabricación de las placas se invierte un promedio de 4 horas y tomando en cuenta que se requieren dos, una para la parte izquierda y otra para la derecha, añadiendo que para algunos modelos se tienen que hacer 2 pares de placas ya que llevan decoraciones en la parte superior frontal y en la parte posterior a la altura de las rodillas.

El tiempo por manufacturar los moldes que completaría el lijado para una prenda es de 16 horas de trabajo continuo. La tarea de generar las placas para procesar la producción requiere demasiado tiempo, tomando en cuenta que de un modelo existen varias tallas y que en la línea de producción se cuentan con 15 puestos de trabajo.

Para dar solución a la problemática planteada, se propone realizar un sistema para automatizar el proceso de generación de moldes el cual consiste en un robot cartesiano de tres ejes con el cual se le dará forma final al molde. Para determinar y programar las trayectorias donde se efectuarán los cortes sobre el relieve 3D del molde, se propone hacer uso de técnicas de visión e inteligencia artificial. Con el desarrollo del sistema, se espera lograr un sistema para generar las placas que tenga la capacidad de generar las trayectorias de corte de forma automática.

MATERIAL Y MÉTODOS

La propuesta presentada hace uso precisamente de esta tecnología para realizar el control del robot mencionado con antelación.

Antes de pasar a la descripción de la solución, es necesario mencionar los principales requerimientos con los que debe de contar el software para el manejo del dispositivo:

a) El programa computacional tendrá dos modos de trabajo: uno, grabar placa y dos, generar trayectorias.

b) El sistema deberá poder generar las trayectorias de la placa a grabar de dos formas, la primera desde un archivo de imagen mismo que tendrá un tamaño normalizado, y la segunda mediante una imagen tomada directamente desde el área de trabajo del robot.

c) El software tendrá la capacidad de ajustar la talla de la placa a fabricar tomando como base los datos capturados de la imagen.

Para el análisis de la imagen se hace uso de la librería de OpenCV compatible con la versión 3.9 de Python.

Como se mencionó en párrafos anteriores, el sistema tiene la capacidad de poder ajustar las tallas de las prendas a grabar; para lograr esto se parte de la premisa de que el aumento o decremento de la talla, tiene un comportamiento semejante a la linealidad como se explicó en un trabajo previo, mismo que se muestra la Tabla 1. En ella se muestran las diferentes medidas de las prendas conforme a las tallas, esta relación facilita el poder ampliar o reducir el tamaño de las trayectorias mismas que

se pueden ajustar mediante una simple relación geométrica mostrada en la ecuación 1, con la que se realiza el ajuste de la coordenada en el eje de las ordenadas que corresponde al eje transversal de la máquina; para el desplazamiento en las abscisas se realiza un ajuste similar.

$$X_n = X_a * 1.0587 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

X_n = nueva coordenada en el eje X.

X_a = coordenada original.

1.0587 constante de proporcionalidad.

Tabla 1 medidas de cintura y cadera del pantalón de mezclilla para mujer.

Talla	Cintura (cm)	Cadera (cm)
28 (5)	65	85
30 (7)	70	90
32 (9)	75	95
34 (11)	80	100
36 (13)	85	105
38 (15)	90	110

Fuente: Elaboración propia 2020.

La gráfica Figura 3 muestra la distribución de los datos a los que hace referencia la Tabla 1, y como se menciono se extienden a lo largo de líneas cuasi rectas.

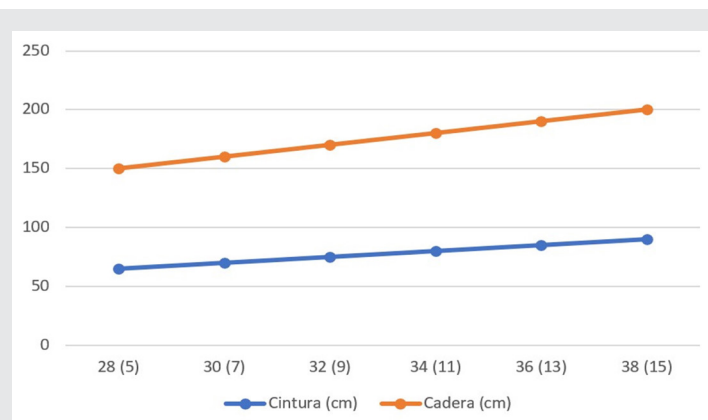


Figura 3 Muestra la interfaz de la opción de grabar placa.

Fuente: Elaboración propia 2020.

La Figura 4, muestra la interfaz de trabajo para el grabado de la placa; en ella se muestra el código G necesario para la manipulación del robot cartesiano.

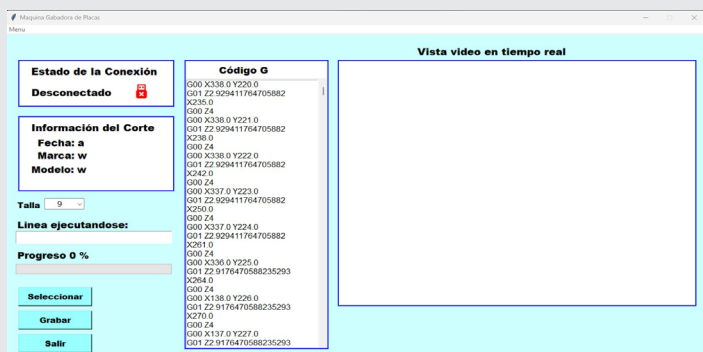


Figura 4. Muestra la interfaz de la opción de grabar placa.
Fuente: Elaboración propia 2023.

En cuanto a la opción de capturar las trayectorias para grabar un nuevo estilo de grabado, tanto para la captura de la imagen en el área de trabajo o para generar el código a partir de un archivo de imagen, se procede de la misma forma:

Como primer paso, se filtra la imagen a procesar, utilizando el filtro gaussiano que es el que mejor resultado ha presentado como discutió en un trabajo donde se realizó la comparativa entre los filtros con los que cuenta la librería de OpenCV.

La Tabla 2 muestra el tiempo de ejecución y la efectividad del filtrado; la razón por preferir el filtro gaussiano es porque el sistema se montará en una computadora de una sola tarjeta como es el caso de la raspberry Pi o Jetson Nano por citar algunas, el filtro mencionado tiene equilibrio entre el tiempo de procesamiento y la eficacia del filtrado, lo que lo hace apropiado para ser usado bajo los recursos del hardware.

Tabla 2. Resultados de la aplicación del filtro.

	Filtros	PSNR (dB)	MSE	Tiempo de Ejecución promedio (ms)
1	Filtro Bilateral	50.61	1.69	56.8
2	Filtro blur	33.96	78.37	21.1
3	BoxFilter	33.96	78.37	20.2
4	GaussianBlur	36.18	46.99	35.8
5	Filter2D	33.96	78.37	89.5
6	MedianBlur	34.29	72.47	168.8

Fuente: Elaboración propia 2023.

Posterior al filtrado, se hace la transformación de la imagen a una imagen idónea para detectar las áreas de interés. Previa delimitación de la imagen, se recorre la imagen con un kernel de 1 pixel, con esto se detecta la longitud de las áreas de interés sobre el eje transversal de la máquina.

Finalmente, por medio de un arreglo matemático se pueden calcular las trayectorias y se genera el código G que es el utilizado para guiar al robot antes mencionado.

RESULTADOS

Una vez concluida la programación, se tiene una interfaz de control que cumple con las características que se plantearon.

La Figura 5 muestra la interfaz de la generación de trayectorias a partir de un archivo de imagen; en ella se muestra la forma en que se selecciona el área que se tomará para generar las trayectorias que seguirá el mecanismo de corte, el área de interes puede ser ajustada mediante el mouse con una acción similar como la que se realiza cuando se recorta una imagen en un dispositivo móvil u ordenador.

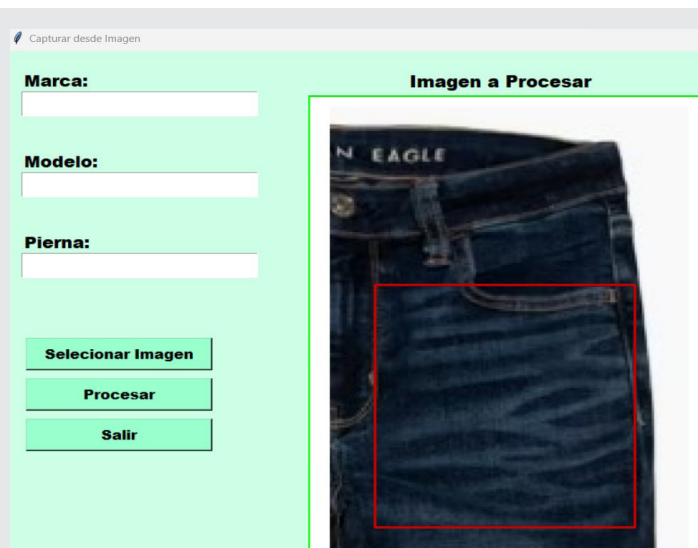


Figura 5. Muestra la delimitación del área a procesar por la máquina
Fuente: Elaboración propia 2023.

Tras definir el área de interés, se filtra y se ajusta el brillo de la imagen con la finalidad de resaltar el contraste de las líneas a marcar. Posteriormente, la imagen es procesada trasladando la imagen original al espectro HSV acto seguido se localizan las áreas de color azul; con la imagen resultante se obtiene una imagen binaria dando como resultado un arreglo donde las áreas de interés son de color blanco y el fondo negro representa la prenda de color azul, que es precisamente la información que se quiere descartar.

La Figura 6 muestra la imagen obtenida, que precisamente es la que servirá de base para la generación de las trayectorias y su posterior transformación en código G.

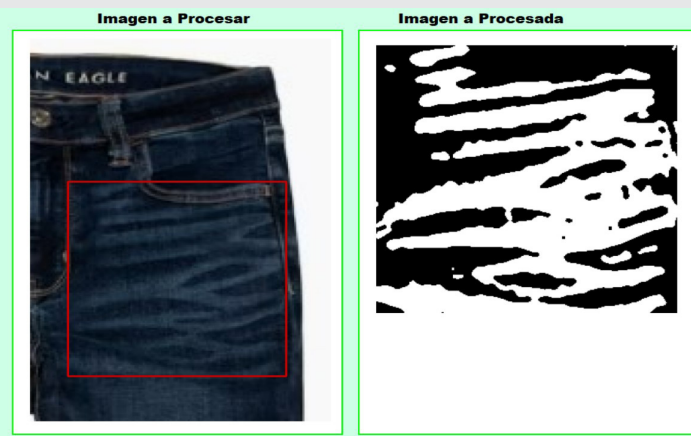


Figura 6. Muestra la interfaz de salida de la imagen procesada
Fuente: Elaboración propia 2023.

Para determinar la dirección del tallado sobre la placa de espuma plástica, se emplea la técnica de recorrer la imagen con un kernel de 3x3 píxeles, con esta acción lo que se pretenden son dos cosas, la primera en mejorar el contorno de la imagen y eliminar zonas donde se encuentren píxeles aislados Figura 7.



Figura 7. Muestra dos grupos de píxeles de color negro dentro de zonas de color blanco
Fuente: Elaboración propia 2023.

La segunda consiste en conocer las coordenadas donde inicia el contorno del área de interés en los ejes ordenados y el número de píxeles de color blanco que se encuentren adyacentes, esto determinará la longitud del corte.

Para mejorar el contorno y eliminar píxeles de color negro dentro de la imagen, se recorre la imagen con un kernel de tres por tres píxeles en el cual se coloca el valor del píxel de acuerdo al valor de los píxeles que rodean al píxel central, es decir, si la mayoría alrededor son blancos, entonces se le asignará el color blanco, en caso contrario se tomará como negro.

Para conocer las coordenadas donde se realizará el corte, se toma la posición de la imagen en el punto

en que el píxel central toma el valor de 1 (que representa el color blanco) y se guarda en un arreglo que contendrá los siguientes valores: en primer lugar la dupla que indica la posición del recorrido del kernel sobre la imagen (X, Y), el número de píxeles con valor de 1 que se encuentren de forma adyacente, el promedio de los correspondientes valores de los píxeles en una imagen en escala de grises (estos valores se utilizarán para determinar la profundidad del corte). Si se encontrara otra línea de píxeles blancos sobre la misma fila de píxeles, se repite el proceso y se guardan de la misma forma en el arreglo, ya que esto se presenta con frecuencia como se puede apreciar en la Figura 7.

Cabe mencionar que este proceso es el mismo que se emplea tanto para trabajar con un archivo de imagen o con una imagen tomada desde el mismo equipo, pero al ser normalizada la imagen, el procedimiento para generar el código g es el mismo, siendo la única diferencia el origen de la imagen.

Finalmente, con el punto aclarado, para obtener el código G, que se utilizara para guiar los movimientos de robot cartesiano, es necesario establecer cuantos píxeles equivalen un mm, para ello se capturó una imagen de un recorte de tela de dimensiones conocidas (Figura 8) de la cual se detectan las esquinas y se cuentan los píxeles que hay entre ellas, para obtener la relación de conversión de píxeles-milímetros, se divide los píxeles entre los milímetros de la longitud de la tela.

La Tabla 3, muestra los valores que se obtuvieron al tomar la imagen del patrón que se utilizó para determinar la relación píxeles-milímetros; para recolectar los datos se tomaron fotografías con el patrón ubicado en diferentes lugares del área de trabajo, la figura 8 muestra el patrón que se utilizó.

Para la prueba, se capturaron 10 imágenes, para lo cual promediando los valores se obtiene el valor de 119.7 píxeles, este valor se dividió por la longitud del patrón que tiene un valor de 104 mm, lo que da como resultado 1.15, por lo tanto, la relación queda establecida de la siguiente manera Ecuación 2:

$$D_{mm} = \frac{D_{px}}{1.15} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

D_{mm} = Distancia en milímetros.

D_{px} = Distancia en píxeles.

Tabla 3. Lectura pixeles para una distancia de 104 mm de longitud

Número de muestra	Cantidad de Pixeles en la dirección de X
1	120
2	120
3	122
4	120
5	115
6	125
7	125
8	120
9	115
10	115

Fuente: Elaboración propia.

```

for g in datos:
    y = str(g[0] / 1.15)
    x = str(g[1] / 1.15)
    z = str(g[3] * 0.011)

    print('G00' + ' ' + 'X=' + x +
          ' ' + 'Y=' + y)
    archivar.escribir('G00' + ' ' +
                     'X=' + x + ' ' + 'Y=' + y)
    print('G01' + ' ' + 'Z=' + z)
    archivar.escribir('G01' + ' ' +
                     'Z=' + z)
    x = str(g[0] + g[2])
    print('X=' + x)
    archivar.escribir('X=' + x)
    print('G00' + ' ' + 'Z=4')
    archivar.escribir('G00' + ' ' +
                     'Z=4')
    
```

Figura 9. segmento para generar el código G.
Fuente: Elaboración propia 2023.

La Figura 10 muestra el código generado para ma-
quinar la placa que servirá de molde para grabar la
decoración a la prenda mostrada en la Figura 5, el
código mostrado corresponde a la talla 34 del pan-
talón para caballero. La talla puede ser ajustada a
partir de los datos de la Tabla 1.

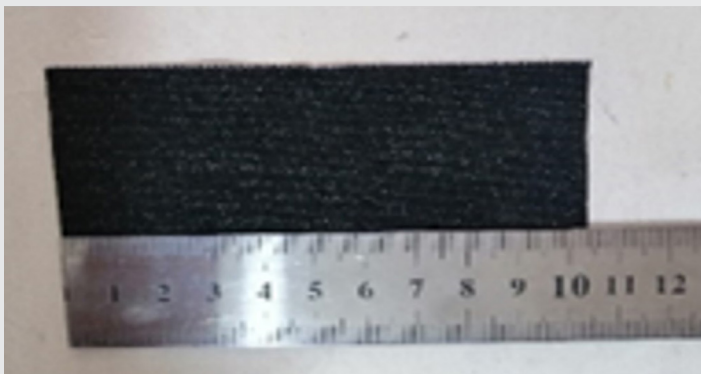


Figura 8. Fotografía tomada por el sistema para calcular la
relación pixeles-milímetro.
Fuente: Elaboración propia 2023.

El fragmento de código mostrado en la Figura 9,
representa la forma de generar el código g; como
puede apreciarse la forma de ensamblar la línea de
instrucciones es sencilla. Lo que el algoritmo realiza
es recorrer el arreglo donde se encuentran los da-
tos de las coordenadas en pixeles, aplica el factor
de conversión a los ejes X y Y. Para el valor del eje
Z, se tiene un espesor constante de 3 mm y como
el valor de los pixeles en la imagen en escala de
grises es de 0 a 255, se tiene un valor de conver-
sión de 0.011 con el que se ajusta el recorrido de la
herramienta sobre e eje de las Z.

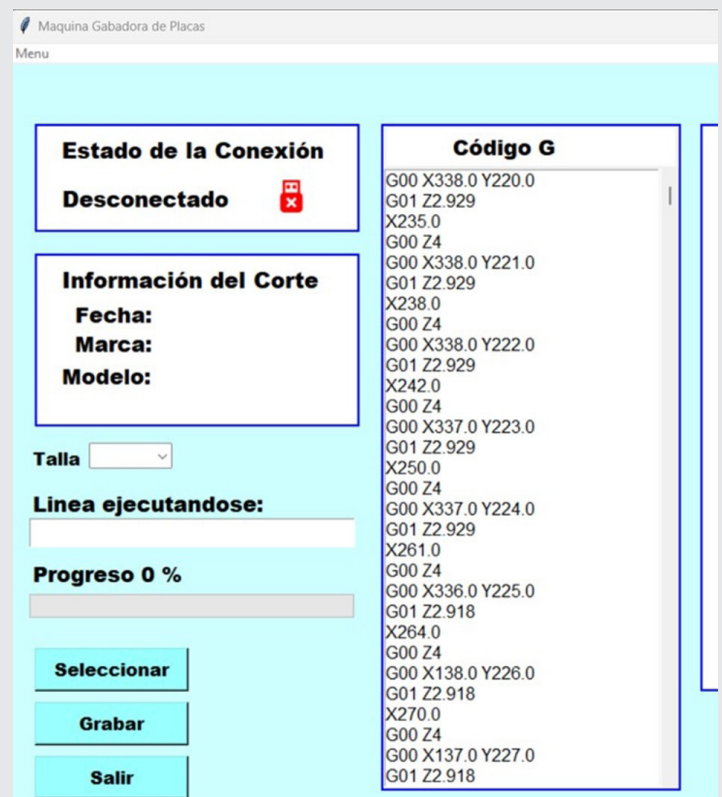


Figura 10. muestra el código G generado para el tallado de la
placa para el grabado de la Figura 5.
Fuente: Elaboración propia 2023.

CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo del proyecto, se pudo observar que los resultados del análisis de la imagen son apropiados para general las trayectorias que guiaran a la máquina para el tallado de la placa que servirá de molde para ser utilizado en la decoración del pantalón.

El empleo del filtro digital Gaussiano mostró ser eficaz para mejorar la calidad de la imagen, en específico le permitió definir con claridad los bordes de las áreas de interés, teniendo relevancia ya que el dispositivo de captura de imagen tiene una resolución 0.5 mega pixeles, aunado a esto la iluminación del área de trabajo recibe contaminación luminosa del exterior del dispositivo, con lo cual el ruido impulsivo se hace presente. El filtro elegido permitió tener imágenes con la calidad deseada cuando la imagen era tomada con la cámara de la máquina. Los resultados del análisis de los archivos de imagen tomados para generar las placas también fueron los deseados. Es preciso recordar que estas imágenes son enviadas por los clientes, con lo cual no se tiene control sobre la captura de la imagen ya que son tomadas en muchas ocasiones por medio de dispositivos móviles por personal de los laboratorios de desarrollo de las diferentes marcas.

Así mismo la técnica para localizar las áreas de interés mostro buenos resultados, ya que al recorrer la sección de la imagen de interés mediante un kernel permitió conocer la longitud de las coordenadas de los puntos a grabar, de igual forma la correlación de la imagen binaria con la imagen en escala de grises, permitió determinar la profundidad del corte que se debería de realizar permitiendo en conjunto generar la conversión a código G que es comúnmente utilizado en el control numérico, misma que entiende la firmware de código abierto GRBL la cual tiene una versión de cuatro ejes misma la cual es compatible para el desarrollo de este proyecto.

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se tiene contemplado la integración con el prototipo de robot cartesiano mismo que se encuentra en construcción el cual permita realizar las correcciones que sean pertinentes al software y al sistema electrónico de control.

De igual forma se tiene contemplado que el sistema pueda cortar no solo la parte de la cubierta de espuma plástica, sino también la base de acrílico que se usa para fijarla a la estación de trabajo, esta parte tiene que adoptar la forma de la sección del encuarte (como se le llama a las partes que conforman a un pantalón) que se va a procesar, para esto deberá contar con un sistema de cambio de herramientas ya que cambiará conforme al material a cortar.

Finalmente se tiene contemplado que el sistema pueda compensar cualquier desviación en la colocación del material a procesar, es decir si se colocara por encima o por debajo del área designada para el corte, esta se pueda desplazar para lograr realizar el grabado, también si se llegaran a presentar desviaciones con respecto al eje longitudinal de la máquina, el sistema de visión artificial, la compensaría para lograr el tallado correcto

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. D. Ortega, F. E. Moyano, C. G. R. Sbrugnera y T. J. G. Tejerina, «Técnicas de Implementación de Visión Estereoscópica en Robótica»,» de XVI Concurso de Trabajos Estudiantiles (EST) - JAIIO 42 (2013), Rio de la Plata Argentina, 2013.
- [2] A. Vouloimos, N. Doulamis, A. Doulamis y E. Protopapadakis, «Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review»,» *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2018, pp. 1-13, 2018.
- [3] S. Gutstein, O. Fuentes y E. Freudenthal, «Knowledge Transfer in Deep Convolutional Neural Nets»,» *Int. J. Artif. Intell. Tools.*, vol. 10, n° 3, p. 555, 2008.
- [4] S. Loos, G. Irving, C. Szegedy y a. C. Kaliszzyk, «Deep Network Guided Proof Search»,» vol. 46, pp. 85-105, 2017.
- [5] C. Alessandro, «Deep learning techniques applied in computer vision»,» *Univesità degli Studi di Padova.*, 2017.
- [6] A. Krizhevsky, I. Sutskever y G. E. Hinton, «ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks»,» *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 1-9, 2012.
- [7] P. Constante, O. Chang y a. I. E. E. Pruna, «Artificial Vision Techniques for Strawberry's Industrial Classification»,» *IEEE Lat. Am Trans.*, vol. 14, n° 6, pp. 2576-2581, 2016.





**CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INGENIERÍAS**



**SOLUCIONES
INTERDISCIPLINARIAS PARA UN
CAMBIO
GLOBAL**