

Edición Especial

CNII 2022

Congreso Nacional de Investigación Interinstitucional



*DIFU*_{100ci@}, Revista de Difusión Científica

Ingeniería y Tecnologías

Vol: 16

Num: 3

Publicación: Septiembre - Diciembre 2022

ISSN: 2007-3585



Una publicación de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas"

Directorio

Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”

Dr. Rubén de Jesús Ibarra Reyes, *Rector*

Dr. Ángel Román Gutiérrez, *Secretario General*

M.C. Hans Hiram Pacheco García, *Secretario Académico*

Dr. Carlos Francisco Bautista Capetillo, *Coord. Investigación y Posgrado*

Editor en Jefe

Víktor Iván Rodríguez Abdalá, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Editores Asociados

Manuel Hernández Calviño, *Universidad de La Habana, (Cuba)*

José Ricardo Gómez Rodríguez, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Grupo Revisor

Jorge Flores Troncoso, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Remberito Sandoval Aréchiga, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Salvador Ibarra Delgado, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Juvenal Villanueva Maldonado, *CONACyT-UAZ, (México)*

Jorge Simón Rodríguez, *CONACyT-UAZ, (México)*

Rodrigo Daniel Méndez Ramírez, *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, (México)*

Leonardo Acho Zuppa, *Universidad Politécnica de Catalunya, (España)*

Miguel Andrés, *Universidad de Valencia, (España)*

José Ángel González Fraga, *Universidad Autónoma de Baja California, (México)*

Ramón Parra Michel, *Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, (México)*

Leonel Soriano Equigua, *Universidad de Colima, (México)*

José Luis Álvarez Flores, *Universidad de Colima, (México)*

Fermín Marcelo Rubén Maciel Barbosa, *Universidad de Colima, (México)*

Francisco Rubén Castillo Soria, *Universidad Autónoma de San Luis Potosí, (México)*

Cristian Eduardo Boyain y Goytia Luna, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Juan Pablo Morales Álvarez, *Instituto Tecnológico de La Paz, (México)*

Daniel Armando Hirles Valles, *Instituto Tecnológico de La Paz, (México)*

Jaime Sánchez García, *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, (México)*

Salvador Villarreal Reyes, *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, (México)*

Ernesto García Domínguez, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Rafael Villela Varela, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Jorge de la Torre y Ramos, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Manuel Reta Hernández, *Universidad Autónoma de Zacatecas, (México)*

Comité organizador CNII 2022

Raúl Aquino Santos, *Universidad de Colima*, (México)
María Guadalupe Sánchez Cervantes, *Tecnológico Nacional de México, campus Cd. Guzmán*, (México)
Ramona Evelia Chávez, *Tecnológico Nacional de México, campus Colima*, (México)
Patricia Elizabeth Figueroa Millán, *Tecnológico Nacional de México, campus Colima*, (México)
Daniel Fajardo Delgado, *Tecnológico Nacional de México, campus Cd. Guzmán*, (México)
Juan Arturo Nolazco Flores, *Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey*, (México)
Peter Chung Alonso, *Tecnológico Nacional de México, campus Colima*, (México)
Sara Sandoval Carrillo, *Universidad de Colima*, (México)
Ismael Amezcua Valdovinos, *Universidad de Colima*, (México)
Noel García Díaz, *Tecnológico Nacional de México, campus Colima*, (México)
Dulce María León de la O, *Tecnológico Nacional de México, campus Villahermosa*, (México)
Elena Elsa Bricio Barrios, *Tecnológico Nacional de México, campus Colima*, (México)
Víktor Iván Rodríguez Abdalá, *Universidad Autónoma de Zacatecas*, (México)

Derechos reservados

Editorial

Universidad Autónoma de Zacatecas

“Francisco García Salinas”

Diseño de revista

Víktor Iván Rodríguez Abdalá

José Ricardo Gómez Rodríguez

Derechos Reservados

Universidad Autónoma de Zacatecas

“Francisco García Salinas”

ISSN 2007-3585

DIFU100ci@ (léase difuciencia) es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, “Francisco García Salinas”, a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690.

ISSN: 2007-3585 otorgado por el Instituto Nacional de Derecho de Autor.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas” a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

<http://www.uaz.edu.mx>
<http://difu100cia.uaz.edu.mx>
difu100cia@uaz.edu.mx

Carta del Comité organizador CNII 2022

El Congreso Nacional de Investigación Interinstitucional (CNII) 2022, en su segunda edición, es organizado por la Red de Investigación Interinstitucional integrada por profesores investigadores y colaboradores de cuerpos académicos de la Universidad de Colima en sus campus Colima, Tecomán, Villa de Álvarez, Coquimatlán y Manzanillo, el Tecnológico Nacional de México en sus campus Colima, Ciudad Guzmán, Villahermosa, y De los Ríos, la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Universidad Autónoma de Baja California, Universidad Autónoma de Zacatecas, Centro Universitario de los Valles de la Universidad de Guadalajara, Universidad Nacional Autónoma de México, Tecnológico de Monterrey, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV Tamaulipas), Universidad Politécnica de Lázaro Cárdenas y la Universidad Tecnológica de Manzanillo.

Se presentan en esta edición los avances y resultados de trabajos elaborados por estudiantes, profesores e investigadores, integrados en cinco áreas: eléctrica, electrónica, redes y telecomunicaciones, computación y PRONACES. Con el objetivo de hacer difusión y propiciar la colaboración a nivel regional, nacional e internacional en el cambio climático y la soberanía alimentaria en los posgrados ofertados por las instituciones participantes se realizaron talleres, conferencias magistrales y conferencias individuales, seleccionando a los artículos que el comité revisor consideró más relevantes para ser publicados en esta revista.

Comité organizador

Índice general

Directorio	I
Comité organizador CNII 2022	II
Derechos reservados	III
Carta del Comité organizador CNII 2022	IV
1. Simulación de brazo robótico en dispositivos móviles utilizando OpenGL ES	1
2. Control Difuso Tipo 2 empleando una función de Lyapunov	9
3. Módulos de supervisión y automatización de un sistema hidropónico mediante lógica difusa y visión por computadora	15
4. Sistema Gestor de Contenidos a la medida para la administración del sitio web del Instituto de Educación Superior de Tabasco Santo Tomás de Aquino	23
5. Análisis de limpieza de aluminio fundido para proceso de inyección a alta presión	29
6. El COVID-19 y los estragos en la educación superior	37
7. Algoritmo de segmentación paralela en imágenes de acuicultura	43
8. Diseño electrónico del sistema de alerta temprana para monitoreo y detección de inundaciones	50
9. Integración de un escanner 3D con sensores ultrasónicos y una aplicación móvil para visualización de modelos tridimensionales	58
10. Desarrollo de Sistema para Calibración de Instrumentos de Certificación en Calidad Energética con LabVIEW	65
11. Aplicación móvil para el análisis cinemático de mecanismos de 4 barras	73
12. Diseñando un videojuego serio persuasivo para fomentar el autoabasto familiar sustentable	81
13. Sistema de Evaluación Postural Estático con Procesamiento de Imágenes	89

14. Caracterización fisicoquímica de la grasa de ovino y evaluación del efecto de la pre-esterificación y transesterificación en la producción de biodiesel	96
15. Sistema para el control de entrada y salida del personal y registro de temperatura corporal	103
16. Prototipo de un Sistema IoT para el Monitoreo de la Calidad del Aire en Exteriores en el Puerto de Manzanillo	110
17. Análisis comparativo del impacto en los estudiantes de educación media superior: clases en línea - clases presenciales	118
18. Diseño y construcción de una extrusora para la obtención de filamento PLA reciclado	126
19. Detección de Armónicos e Interarmónicos en la Calidad de Energía Aplicando la Transformada Wavelet Synchrosqueezing	132
20. Efectos de la sobrevivencia de un cladócero expuesto a disruptores endocrinos	142
21. Sistema de Control para iluminación artificial LED en la germinación de albahaca	148
22. Detección de fallas en paneles fotovoltaicos de una granja solar	154
23. Propuesta de implementación de ecotecias para la gestión de recursos básicos en viviendas rurales del estado de Oaxaca	163
24. Sistema para la cuantificación de vibraciones mecánicas empleando un transductor CCD	170
25. Retorno de inversión de sistemas fotovoltaicos y reducción de CO2 en comercios y en residencias	178

Robot arm simulation in mobile devices using OpenGL ES

Simulación de brazo robótico en dispositivos móviles utilizando OpenGL ES

Dino Tonatiah Gutierrez-Martinez¹, Marly Yuleth Cantú-Charles¹, Jesus Eduardo Uriegas-Ibarra¹, and Marco Aurelio Nuño-Maganda^{*1}

¹Universidad Politécnica de Victoria,
Departamento de Ingeniería en Tecnologías de la Información,
Av. Nuevas Tecnologías 5902, Parque científico y tecnológico de Tamaulipas 801, Victoria, Tamps., México, 87138.
{1930351,1930064,1930526,mnunom}@upv.edu.mx

Abstract

Computer simulation allows users to interact with a simulated environment, which makes possible learning without incurring the costs associated with a real environment. That is why different projects have emerged trying to replicate different real life experiences in 3D simulation. With the increase in digital activity due to the pandemic, many students have lost the experience of interacting first-hand with physical processes, such is the case of robotic arms that due to their cost and social distancing is not feasible, which is why we propose a 3D simulation of a robotic arm with which a user can interact.

Keywords— Simulation, Mobile App, OpenGL

Resumen

La simulación por computadora permite la interacción de los usuarios con un ambiente simulado, lo cual hace posible el aprendizaje sin incurrir en los costos asociados a un ambiente real. Es por ello, que diferentes proyectos han surgido intentando replicar diferentes experiencias de la vida real en simulación 3D. Con el aumento de la actividad digital debido a la pandemia muchos estudiantes han perdido la experiencia de interactuar de primera mano con procesos físicos, tal es el caso de los brazos robóticos que por su costo y el distanciamiento social no es factible, es por ello que se propone

la simulación 3D de un brazo robótico con el cual un usuario puede interactuar.

Palabras clave— Simulación, Aplicación Móvil, OpenGL

I. Introducción

La simulación de un brazo robótico es útil para verificar el rendimiento de los algoritmos de planificación, lo cual conlleva ventajas en cuanto a costo tiempo y seguridad. Un tipo importante de sistema robótico es el manipulador o brazo robótico. Los sistemas robóticos de este tipo fueron algunos de los primeros en alcanzar un uso generalizado en la industria. Los manipuladores robóticos se han convertido en un elemento estándar de las líneas de montaje modernas. Realizan una gran cantidad de tareas como: soldadura, pulverización, operaciones de recogida y colocación, perforación, corte y elevación.

Los manipuladores robóticos son algunos de los ejemplos más sencillos de sistemas robóticos prácticos. Su estudio ayuda a aclarar los principios subyacentes y los problemas que se encuentran al estudiar sistemas más complejos [1]. Un brazo robot está formado por una serie de cuerpos individuales o eslabones que están conectados por articulaciones. Los cuerpos individuales que componen el robot suelen tratarse como cuerpos rígidos. Las articulaciones que conectan los eslabones del robot pueden ser bastante complejas y pueden presentar una mecánica no trivial. Una articulación ideal es una interconexión entre cuerpos rígidos de un sistema robótico que sólo permite movimientos relativos específicos y predefinidos, como la traslación o la rotación [2].

* Autor de correspondencia

En [3] realizaron una comparación de los programas de simulación específicamente orientados a la manipulación del brazos robóticos. Todas las plataformas consideradas en este estudio están orientadas a la computadora, dejando a un lado las aplicaciones móviles. En el presente artículo se muestran los resultados de implementar una aplicación móvil que simula un brazo robótico, esto con la finalidad de permitir al público en general interactuar con este, y de manera particular a estudiantes de ingenierías afines a la robótica.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II, se muestra una investigación sobre algunas aplicaciones con funcionamiento similar, pretendiendo concentrar un pequeño estado del arte de aplicación móviles para la simulación de brazos robóticos. En la sección III, se describen algunas tecnologías necesarias para el desarrollo del proyecto. En la sección IV se detalla el diseño del brazo robótico virtual, así como la arquitectura de la aplicación. En la sección V se describe el desarrollo de la aplicación móvil, además de mostrar los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección VI se describen las conclusiones y trabajo futuro.

II. Revisión de Aplicaciones Relacionadas

II.1. ARM Robot Simulator (3D)

Es un simulador 3D para probar el Robot industrial de 6 ejes ARM. Es posible probarlo mediante el establecimiento de la velocidad y el ángulo de cada uno de los de 6 ejes. El usuario puede establecer varias opciones como el objetivo X, Y, Z y es posible ver el punto de ajuste de X, Y, Z, así como la velocidad de los 6 ejes. Está diseñado para comportarse de manera similar al brazo robótico utilizado en la industria real [4]. Esta aplicación se muestra en la Figura 1.

II.2. SCARA Robot Simulator (3D)

Esta aplicación es un simulador 3D para probar el Robot industrial. El usuario puede configurar la velocidad y el ángulo de cada eje. Puede establecer varias opciones como el punto de destino (X, Y, Z, T), el punto de vista (X, Y, Z, T) y la velocidad para cada eje en 6 pasos. Está diseñado para comportarse de forma similar al Robot Scara utilizado en la industria real [5]. Esta aplicación se muestra en la Figura 2.

II.3. DELTA Robot Simulator (3D)

Es un simulador 3D para probar el Robot Delta industrial de 6 ejes. Puede establecer varias opciones como el punto de destino (X, Y, Z, T), el punto de vista (X, Y, Z, T) y la velocidad para cada eje en 6 pasos. Está diseñado para comportarse de forma similar al Robot



Figura 1: ARM Robot Simulator de VINET

Delta utilizado en la industria real. Es una opción para presentar la simulación educativa a los estudiantes que están aprendiendo sobre la industria de los robots o sobre cómo manejar y diseñar robots. El funcionamiento básico de esta aplicación se basa en los 6 valores de paso establecidos en la pestaña *Step Motion Settings* [6]. Esta aplicación se muestra en la Figura 3.

II.4. ABB IRB 4600/40

El IRB 4600/40 es un brazo robot industrial de 6 grados de libertad (DOF, por sus siglas en inglés) desarrollado por ABB. Tiene una carga útil de 40 kg. Permite visualizar una simulación de un brazo robótico con movilidad. Mediante los controles de la izquierda es posible realizar los movimientos requeridos. Con el motor A se puede

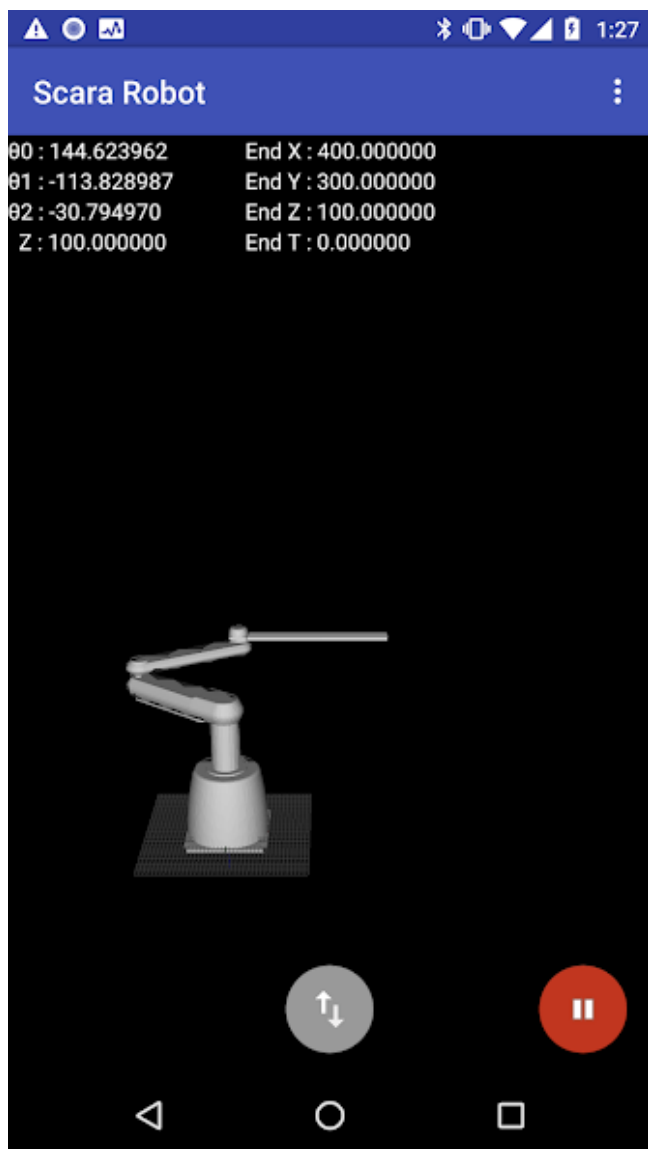


Figura 2: SCARA Robot Simulator de VINET

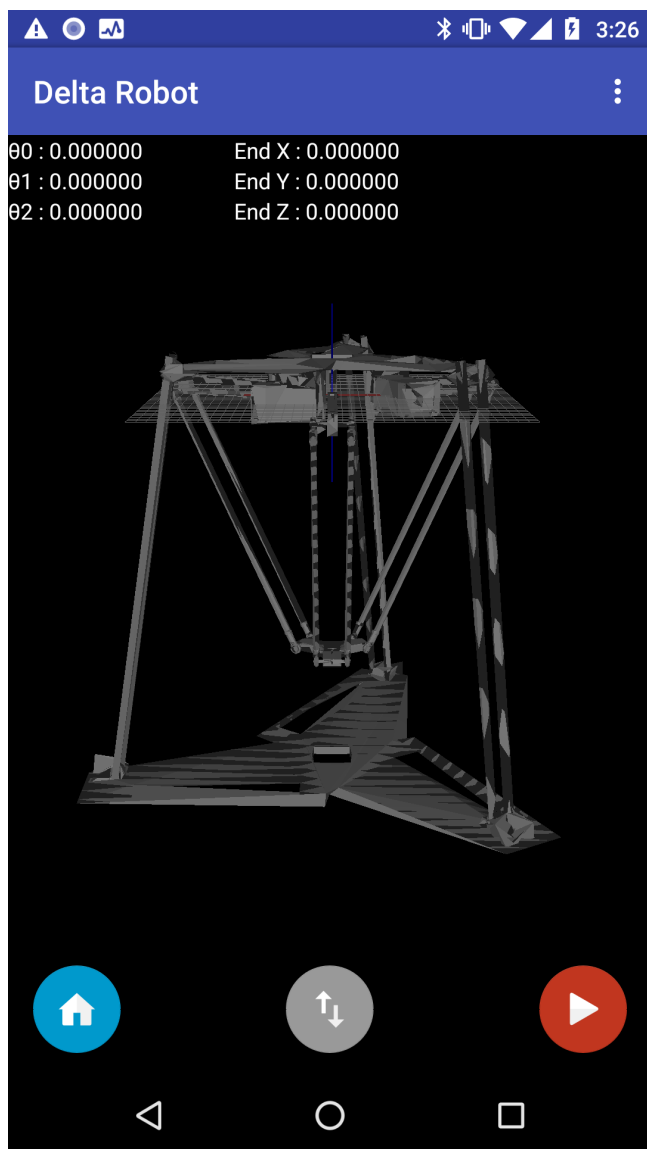


Figura 3: DELTA Robot Simulator de VINET

girar el brazo 360° en su eje. Mediante el motor B es posible subir o bajar el brazo desde su unión 1. Gracias al motor C se puede mover el brazo hacia arriba o hacia abajo desde la unión 2. Con el motor D se puede rotar la palma y los dedos se pueden mover mediante el motor E [7]. Esta aplicación se muestra en la Figura 4.

II.5. KUKA's youBot

El youBot es un brazo robótico móvil desarrollado por KUKA. Su brazo tiene cinco grados de libertad y cuenta con una pinza lineal. Su base está diseñada con cuatro ruedas Mecanum que permiten un movimiento omnidireccional. Estas ruedas están modeladas de forma eficiente utilizando la fricción asimétrica. Es posible controlar los movimientos que el brazo realiza con los controles que

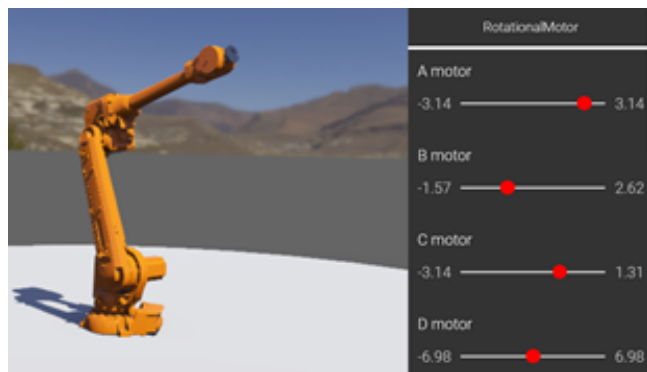


Figura 4: Simulación de ABB' IRB 4600/40

están en el panel derecho. Entre los movimientos permitidos encontramos: girar en su propio eje, moverse en sentido de derecha a izquierda y viceversa, mover el “codo” hacia los lados, mover su “mano” en sentido horizontal, girar la palma y mover las llantas con las que cuenta [8]. Esta aplicación se muestra en la Figura 5.

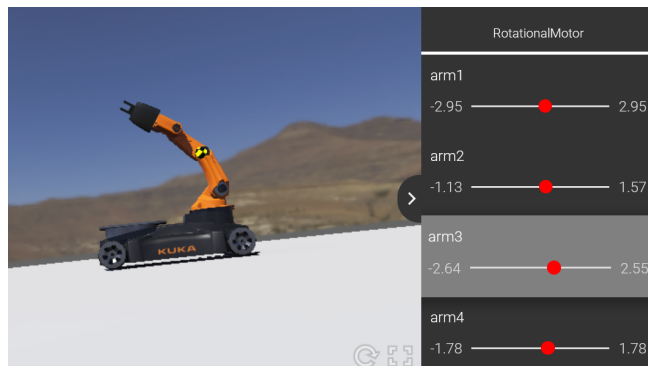


Figura 5: Simulación de KUKA'S youBot

La principal ventaja de la aplicación que simula un brazo robot en comparación con aquellas propuestas en el estado de arte consiste en que el desarrollo aquí descrito es de código abierto, lo que significa que cualquiera que solicite el código fuente podrá realizar las adecuaciones que considere necesarias.

III. Tecnologías requeridas

En esta sección revisaremos las principales tecnologías requeridas para el desarrollo de este proyecto.

III.1. Android

Android es un sistema operativo inicialmente pensado para teléfonos móviles. Lo que lo hace diferente de otros sistemas operativos es que está basado en Linux, un núcleo de sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma. Es de código abierto, lo que significa que cualquiera puede descargar el código fuente, inspeccionarlo, compilarlo e incluso cambiarlo.

Android permite programar aplicaciones utilizando el lenguaje de programación Java. El sistema operativo proporciona todas las interfaces necesarias para desarrollar aplicaciones que accedan a las funciones del teléfono (como las llamadas, la agenda, el GPS, etc.) de una forma muy sencilla en un lenguaje de programación muy conocido como es Java.

Esta sencillez, junto a la existencia de herramientas de programación gratuitas, hacen que una de las cosas más importantes de este sistema operativo sea la cantidad de aplicaciones disponibles, que extienden casi sin límites la experiencia del usuario [9].

III.2. OpenGL

Open Graphics Library es una API multiplataforma de gráficos que especifica una interfaz de software estándar para hardware de procesamiento de gráficos 2D y 3D.

La interfaz consiste en más de 250 funciones diferentes que pueden usarse para dibujar escenas tridimensionales complejas a partir de primitivas geométricas simples, tales como: puntos, líneas y triángulos. Se usa ampliamente en: CAD (Computer-Aided Design), realidad virtual, representación científica, visualización de información y simulación de vuelo, así como en desarrollo de videojuegos.

Proporciona un conjunto común de comandos que se pueden usar para administrar gráficos en diferentes aplicaciones y en múltiples plataformas [10].

III.3. Blender

Es una suite de creación de contenido 3D totalmente integrada que ofrece una amplia gama de herramientas esenciales que incluyen: modelado, renderizado, animación y rigging, edición de video, VFX, composición, texturizado y muchos tipos de simulaciones.

Es multiplataforma, con una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) OpenGL que es uniforme en todas las plataformas principales. Es una arquitectura 3D que permite un flujo de trabajo de creación rápido y eficiente [11, 12].

III.4. Simulación a computadora

La simulación a computadora intenta modelizar sistemas reales o hipotéticos mediante un ordenador de forma que su funcionamiento puede ser estudiado con la finalidad de predecir su comportamiento [13].

Las simulaciones por computadora abarcan desde programas informáticos cuya ejecución dura unos minutos hasta conjuntos de ordenadores conectados en red cuya ejecución dura horas, e incluso hay simulaciones que se extienden varios días.

Permite anticiparse al proceso real, validarlo y obtener su mejor configuración. Se emplea en el diseño de nueva tecnología para llegar a comprender mejor su funcionamiento.

IV. Sistema propuesto

IV.1. Diseño del objeto gráfico

Para el brazo robótico se utilizó la herramienta Blender, que como se mencionó anteriormente, es una herramienta de creación de contenido 3D, debido a que es el más común y es gratuito, se optó por crear el diseño del brazo robótico en dicho software. Para llegar al diseño actual del brazo se propuso varios sketches hechos en

papel basándonos en brazos robóticos industriales para seleccionar el que mejor se adaptara a este proyecto, teniendo bocetos simples, detallados y complejos, dando como resultado el diseño actual, teniendo un diseño semi-complejo, pero que se adapta mejor a la aplicación móvil. En la Figura 6, se muestra el diseño del brazo efectuado en la herramienta Blender.



Figura 6: Modelo del brazo robótico

IV.2. Maquetación de la aplicación

Gráficamente se desea hacer la aplicación lo más intuitiva posible, por lo cual, primero se desarrolló un modelo donde cada movimiento se realizaría mediante gestos *touch*, sin embargo, se llegó a la conclusión que estos no pueden ser modelados de una manera eficiente debido a que son difíciles de entender en un principio y son más complicados de implementar dadas las características del proyecto. Por ello, se decidió implementar una barra de botones en la parte inferior de la aplicación, la cual permite al usuario controlar cada movimiento disponible.

La Figura 7 muestra los botones diseñados para la aplicación, como se observa el objetivo de los mismos es hacer más intuitivo el funcionamiento de cada botón mediante imágenes en vez de texto.

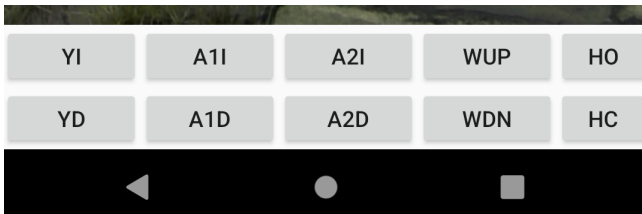


Figura 7: Diseño de botones de control

Se decidió crear los botones utilizando Photoshop, ya que este software otorga más control sobre el diseño a realizar que otro tipo de software.

Por otra parte, la estructura de la aplicación es la que se observa en la Figura 8, como se observa los botones de control se encuentran en la parte inferior de la pantalla,

existe un título en la parte superior, mientras que al centro se encuentra la simulación.

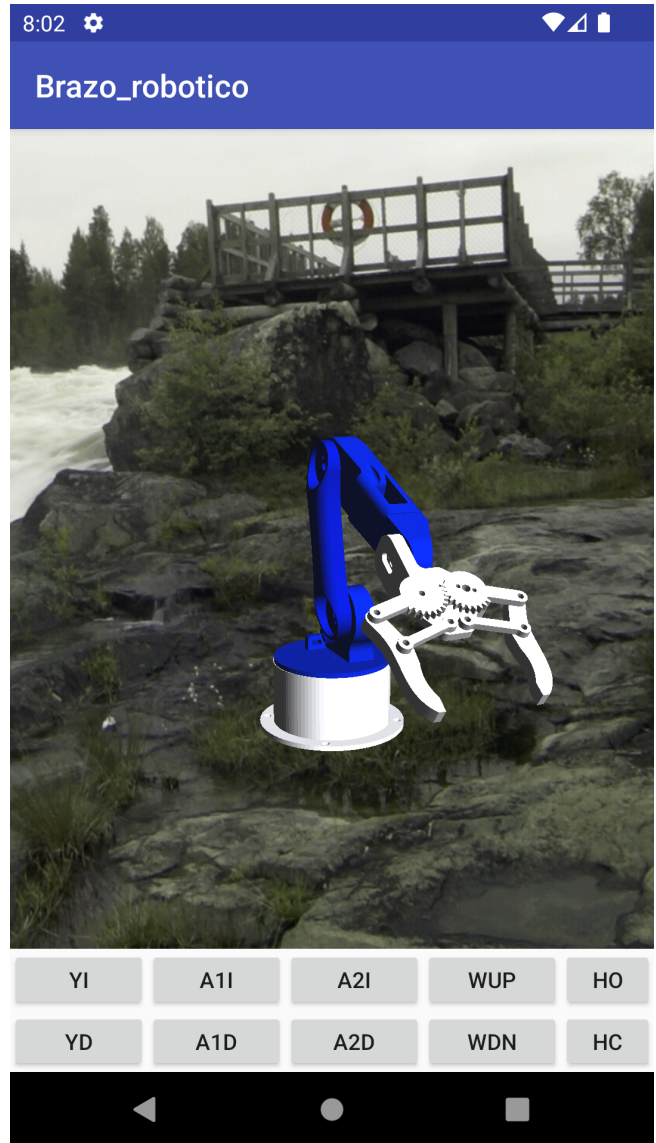


Figura 8: Maquetación de la Aplicación

V. Resultados

V.1. Librerías gráficas para el modelado del brazo

En la Figura 9 se muestra el funcionamiento de OpenGL, como se observa, se trata de un proceso laborioso, en el que cada imagen que se renderiza necesita diseñarse de manera lógica mediante un uso extensivo de matrices para embeber funcionalidad en el sistema; por otra parte, el desarrollo del proyecto se vuelve más sencillo mediante el uso de objetos diseñados en Blender, es por ello que se decidió utilizar una librería.

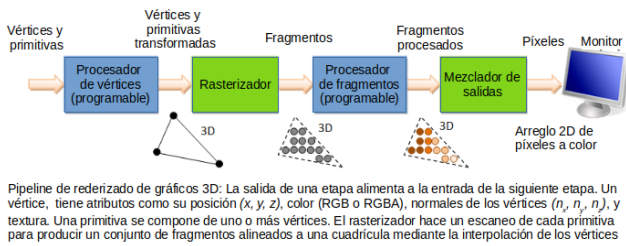


Figura 9: Canalización de Renderización [14]

Rajawali es una biblioteca de código abierto para el renderizado 3D OpenGL en Android 3. Esta librería se ha utilizado para aplicaciones de visualización de gráficos tanto en 2D como de 3D, y es un motor para Android basado en OpenGL ES 2.0/3.0 que proporciona un acceso sencillo a la potencia y eficiencia de OpenGL para sistemas embebidos [15]. Esta librería se utiliza principalmente por su flexibilidad, así como por su facilidad de uso, esencial para un proyecto con limitaciones en cuanto al tiempo de desarrollo. Esta librería permite el trabajo con archivos *.obj*, de esta forma se pueden cargar las distintas piezas que conforman el brazo robótico en formato *obj*.

V.2. Implementación de movilidad del brazo

Para modelar el brazo robot, se analizó el modelo y se dividió en diferentes segmentos. A cada segmento se le asignó un *archivo obj*, resultado de modelado en la herramienta Blender. Otra tarea que procedió a realizarse es la coordinación en cuanto al movimiento de los componentes del brazo. A partir de videos del brazo que se requiere modelar, se procedió a delimitar los movimientos posibles de cada pieza del brazo, de tal forma que se imite al brazo original en la medida de las posibilidades en cuanto al desarrollo de éste proyecto.

El brazo robot propuesto involucra 5 grados de libertad: la base, el brazo, el codo, la muñeca (subir y bajar), rotación de la muñeca y la apertura y cerradura de los dedos (gripper). El diagrama mostrado en la Figura 12 solo fue utilizado como referencia para el modelado de la mayoría de los componentes del brazo. Los dedos no forman una articulación independiente, sino que forman parte del mismo sistema de apertura y cerradura simultánea. Para efectos de esta simulación, no fueron incluidos pesos ni materiales de los componentes, por lo que no se consideraron aspectos de fuerzas y cargas.

Mediante el uso del sistema de coordenadas se puede ir colocando cada pieza mediante prueba y error, de forma que se llega a tener el brazo renderizado pero sin movimiento. Para el movimiento del brazo se hace uso del modelo de jerarquía presentado en [16], el cual se basa en la naturaleza del movimiento de los brazos humanos, como se observa en la Figura 12, existen varias articu-

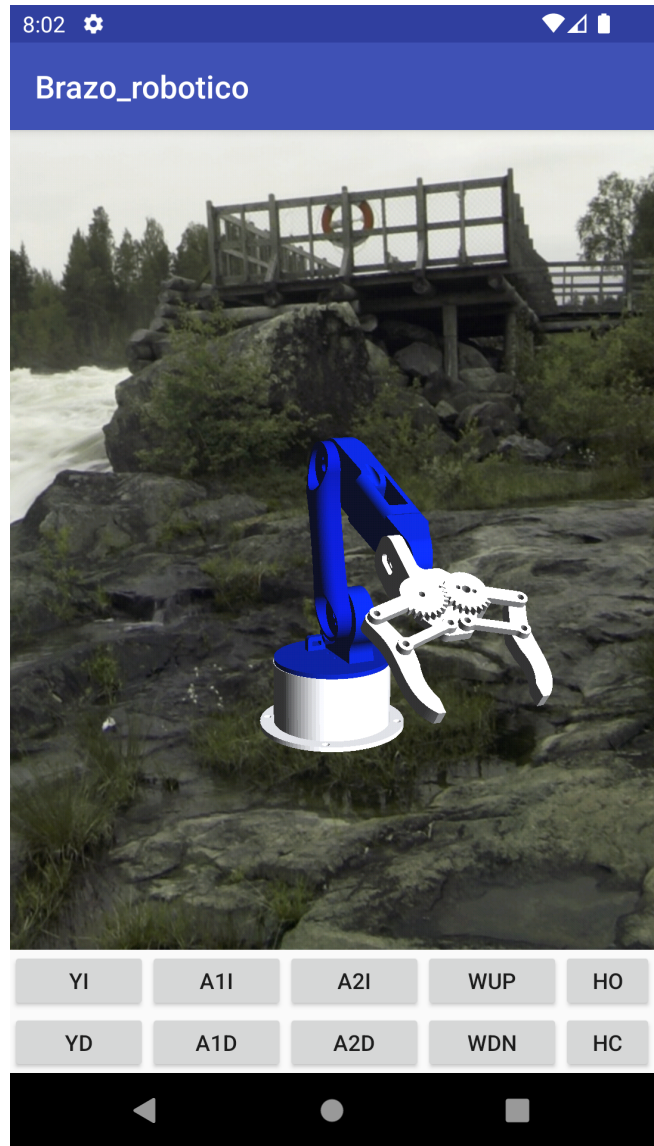


Figura 10: Renderizado aleatorio de las piezas del brazo robótico

laciones en un brazo humano, donde cada articulación mueve una parte del brazo, en la articulación del hombro (shoulder joint) al realizarse movimiento se mueve el brazo superior, inferior, la mano y los dedos, mientras que si se mueve la articulación del hombro (elbow joint) el brazo superior queda estático, moviéndose así solo el brazo inferior, la mano y los dedos, y así ocurre con el resto de las articulaciones.

Como podrá inferir el lector, existe una jerarquía en las articulaciones, donde la articulación del brazo es la que está más arriba de la jerarquía ya que permite mover el brazo entero, mientras que la articulación del dedo está en la parte de abajo, ya que permite mover solo un dedo.

La anterior lógica se implementó en el brazo robóti-

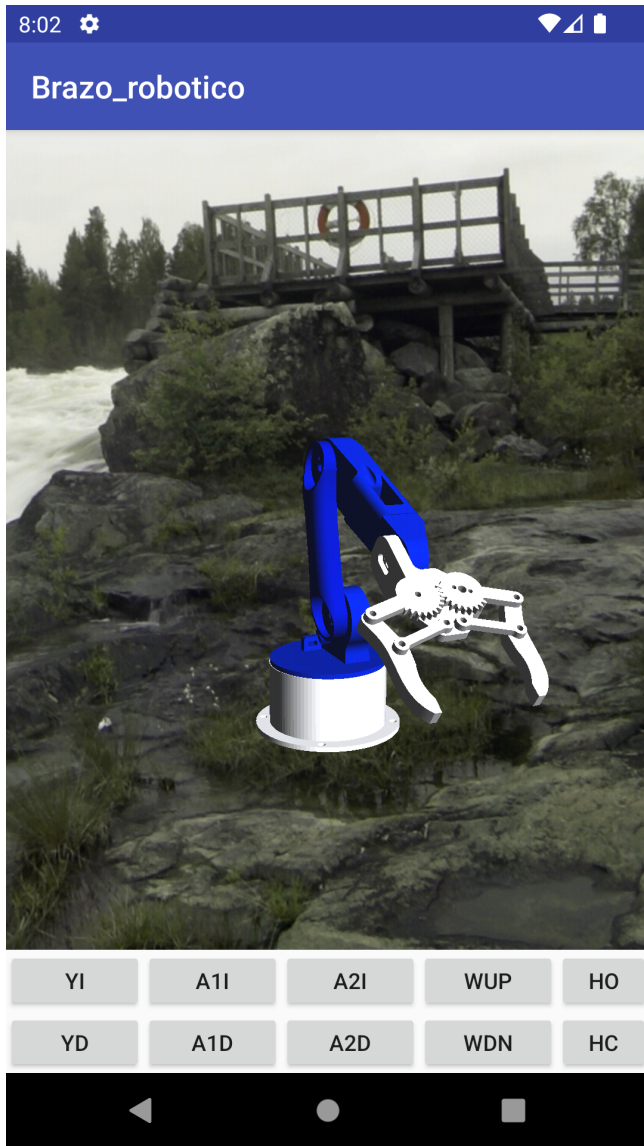


Figura 11: Brazo armado renderizado

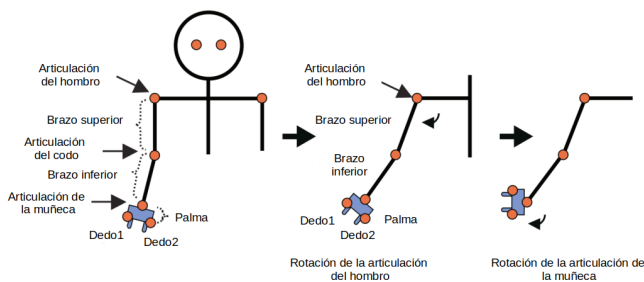


Figura 12: Estructura y movimiento desde el hombro hasta los dedos basado en el diseño de Matsuda [16]

co para que este funcionara de manera correcta, de no seguirse dicha lógica el movimiento del objeto no sería posible.

La aplicación finalizada se muestra en la Figura 13, como se observa, la aplicación implementa un skybox de una fábrica, lo cual permite hacer más realista la simulación. Las articulaciones del brazo solo pueden ser manipuladas por los botones de la interfaz, por lo que no es necesario ningún método que requiera de la pantalla Touch.

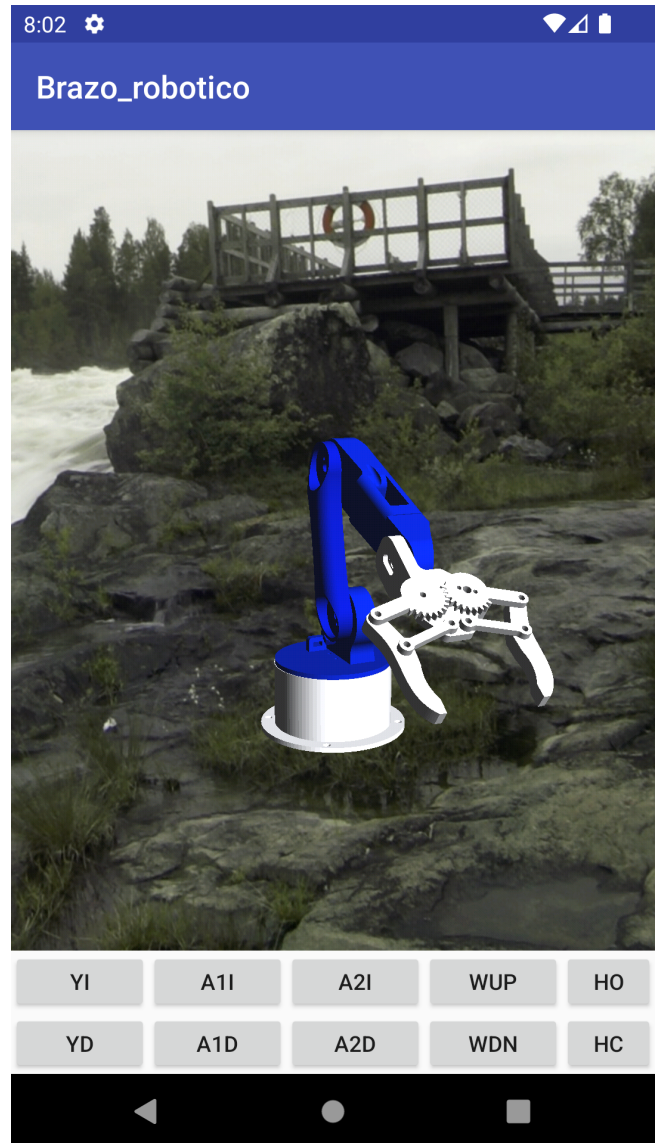


Figura 13: Aplicación Móvil de Brazo Robótico

La aplicación final cuenta con los siguientes botones, cuya función de cada botón es la siguiente:

1. Rotar la base hacia la izquierda (YI)
2. Rotar la base hacia la derecha (YD)
3. Mover brazo 1 a la izquierda (A1I)
4. Mover brazo 1 a la derecha (A1D)
5. Mover brazo 2 a la izquierda (A2I)
6. Mover brazo 2 a la derecha (A2D)

7. Mover muñeca hacia arriba (WUP)
8. Mover muñeca hacia abajo (WDN)
9. Abrir el gripper (HO)
10. Cerrar el gripper (HC)

VI. Conclusiones y Trabajo Futuro

VI.1. Conclusiones

Se logró la implementación de una aplicación móvil que permite al usuario la interacción con un brazo robótico.

La principal desventaja de este desarrollo, es que no permite la simulación de más objetos, mientras que la interfaz gráfica no es del todo intuitiva.

VI.2. Trabajo Futuro

Actualmente, se puede interactuar con la simulación mediante el uso de una interfaz gráfica, sin embargo, sería deseable que en vez de una interfaz gráfica exista una simulación utilizando realidad aumentada, lo cual sería más intuitivo y realista para el usuario.

Referencias

- [1] M. W. Spong y M. Vidyasagar. *Robot Dynamics and Control*. New York: John Wiley y Sons, 1989.
- [2] A.J. Kurdila y P. Ben-Tzvi. *Dynamics and Control of Robotic Systems*. Wiley, 2019. ISBN: 9781119524830. URL: <https://books.google.com.mx/books?id=T00qDwAAQBAJ>.
- [3] Florent P. Audonnet, Andrew Hamilton y Gerardo Aragon-Camarasa. *A Systematic Comparison of Simulation Software for Robotic Arm Manipulation using ROS2*. 2022. DOI: 10.48550/ARXIV.2204.06433. URL: <https://arxiv.org/abs/2204.06433>.
- [4] VINEIT. *ARM ROBOT SIMULATOR (3D) - Apps on Google Play*. Jun. de 2019. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vineit.armrobot&hl=en_US&gl=US.
- [5] VINEIT. *SCARA ROBOT SIMULATOR (3D) - Apps on Google Play*. Feb. de 2019. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vineit.scararobot&hl=en_US&gl=US.
- [6] VINEIT. *DELTA ROBOT SIMULATOR (3D) - Apps on Google Play*. Feb. de 2019. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vineit.deltarobot&hl=en_US&gl=US.
- [7] ABB' IRB 4600/40. 2020. URL: <https://cyberbotics.com/>.
- [8] KUKA's youBot. 2020. URL: <https://cyberbotics.com/>.
- [9] Alejandro Nieto Gonzalez. *¿Qué es Android?* Feb. de 2011. URL: <https://www.xatakandroid.com/sistema-operativo/que-es-android>.
- [10] Carlos Eduardo Oviedo de la Torre y col. «OpenGL en dispositivos móviles». En: (2004).
- [11] Blender Online Community. *Blender - a 3D modelling and rendering package*. Blender Foundation. Stichting Blender Foundation, Amsterdam, 2022. URL: <http://www.blender.org>.
- [12] Blender. *Introducción — Blender Manual*. Ago. de 2022. URL: https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html#:~:text=Blender%20es%20una%20suite%20de%20creaci%C3%B3n%20de%20contenido%203D%20totalmente,y%20muchos%20tipos%20de%20Simulaciones..
- [13] Facultad de Informática de Barcelona. *Simulación*. 2017. URL: <https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html#:~:text=La%20simulaci%C3%B3n%20por%20ordenador%20intenta,la%20evoluci%C3%B3n%20de%20la%20Inform%C3%A1tica..>
- [14] Chua Hock-Chuan. *3D Graphics with OpenGL*. 2022. URL: https://www3.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/opengl/CG_BasicsTheory.html (visitado 19-08-2020).
- [15] *Rajawali Official Website*. 2022. URL: <https://rajawali.github.io/Rajawali> (visitado 19-08-2020).
- [16] K. Matsuda y R. Lea. *WebGL Programming Guide: Interactive 3D Graphics Programming with WebGL*. OpenGL. Pearson Education, 2013. ISBN: 9780133364927. URL: <https://books.google.com.mx/books?id=3c-jmWkLNwUC>.

Fuzzy Control Type 2 using a Lyapunov function

Control Difuso Tipo 2 empleando una función de Lyapunov

Rosalío Farfán-Martínez^{*1}, William Torres-Hernández¹, and Luz del A. Cambrano-Bravata¹

¹Universidad Tecnológica de Campeche (UTCAM),

Carretera Federal 180 S/N, San Antonio Cárdenas, Ciudad del Carmen, Campeche, México, C.P. 24100.

farfan678@hotmail.com, {wtorres,lcambrano}@utcam.edu.mx

Abstract

In the development of this work a hybrid controller is presented to regulate the speed and position of a servomotor that combines an intelligent control technique and a classic control; a candidate function of Lyapunov is proposed and analyzed to ensure the stability of the controller. The results are compared with a similar control technique applied to the same system. This work presents the design of a controller that uses a Lyapunov candidate function to systematically obtain the rules of a fuzzy type 2 controller. The design of the controller rule base uses only the error signals and the error derivative. Once the fuzzy type 2 controller is designed, the control law that will allow the tracking of a sinusoidal reference is determined. Likewise, the performance analysis is presented to determine the value of the separation interval of the type 2 membership functions.

Keywords— Fuzzy Control Type 2, Lyapunov Approach, Trajectory Tracking

Resumen

En el desarrollo de este trabajo se presenta un controlador híbrido para regular la velocidad y posición de un servomotor que combina una técnica de control inteligente y una de control clásico; se propone una función candidata de Lyapunov y se analiza para garantizar la estabilidad del controlador. Los resultados son comparados con una técnica de control similar aplicada al mismo sistema. En este trabajo se presenta el diseño de un controlador que utiliza una función candidata para obtener

sistemáticamente las reglas de un controlador difuso tipo 2. El diseño de la base de reglas del controlador utiliza las señales de error y la derivada del error. Una vez que se diseña el controlador difuso tipo 2, se determina la ley de control que permitirá realizar el seguimiento de una referencia senoidal. Así mismo, se presenta el análisis de desempeño para determinar el valor del intervalo de separación de las funciones de membresía tipo 2.

Palabras clave— Control Difuso Tipo 2, Enfoque de Lyapunov, Seguimiento de Trayectorias

I. Introducción

Los sistemas difusos son utilizados en muchas aplicaciones científicas y de ingeniería, principalmente en el área del control automático y el reconocimiento de patrones. Los conjuntos difusos fueron introducidos por L. A. Zadeh a mediados de los años sesenta [1] para procesar datos afectados de incertidumbre no probabilística.

Los sistemas difusos tipo 1 pueden manejar las variables lingüísticas, el razonamiento de los expertos y reproducir el conocimiento de los sistemas a controlar, sin embargo, no pueden manejar ciertas incertidumbres tales como dispersiones en las mediciones y distorsiones lingüísticas del conocimiento de los expertos [2].

Los sistemas difusos tipo 2 pueden manejar este tipo de incertidumbres y además tienen la capacidad de modelar sistemas complejos no lineales, logrando un mejor desempeño de los controladores diseñados bajo este enfoque. Los conjuntos difusos tipo 2 fueron propuestos originalmente por Zadeh en 1975. En la literatura se reportan diversas aplicaciones de control empleando los sistemas difusos tipo 2, las cuales son aplicadas a diversos sistemas.

* Autor de correspondencia

En [3], se realiza un controlador basado en lógica difusa tipo 2 utilizando algoritmos genéticos para controlar la velocidad de un motor de corriente directa. El controlador es programado en un FPGA (Field Programmable Gate Array) para su evaluación.

En [4], se diseña un controlador difuso tipo 2 estable, usando la síntesis difusa de Lyapunov propuesta por [5] aplicado a un manipulador robótico de un grado de libertad. Los resultados son comparados con un controlador difuso tipo 1.

En [6], presentan el diseño de un controlador difuso tipo 2 PID (Proporcional Integral Derivativo) aplicado a un robot paralelo. Emplean algoritmos genéticos para determinar los valores óptimos del PID. La función objetivo a minimizar es el ITAE (Integral of time multiplied absolute error); los parámetros del controlador son calculados para que el robot realice el seguimiento de la trayectoria de control. El controlador difuso tipo 2 presenta un buen desempeño para el seguimiento de trayectorias en robots de este tipo con base en el análisis del índice del error realizado.

Un esquema de control que combina la lógica difusa tipo 2 y el control adaptable es aplicado a un motor síncrono de imanes permanentes en [7]. El objetivo de control consiste en lograr el seguimiento de la trayectoria y robustez ante la presencia de incertidumbre y perturbaciones. La estabilidad del sistema en lazo cerrado se analiza utilizando la teoría de Lyapunov.

En [8] se presenta la aplicación de un controlador difuso tipo 2 para un motor de corriente directa de 5 hp ante la presencia de un incremento del 100 por ciento del par de carga externo. Los resultados son comparados con un controlador difuso tipo 1 empleando como criterios de desempeño índices basados en el error: ISE (Integral square-error), IAE (Integral absolute error) e ITAE. El controlador difuso tipo 2 muestra mejor desempeño debido al manejo de las incertidumbres y de las dinámicas no modeladas.

En [9] se diseña un controlador difuso tipo 1 empleando una función de Lyapunov para controlar un sistema mecánico. La posición de un servomotor a nivel simulación es regulada presentando resultados aceptables para sistemas que presentan tiempos de retardo.

En [10] se derivan las condiciones de estabilidad de un sistema difuso tipo 2 usando una función de Lyapunov. Este análisis toma en consideración las características de las funciones de membresía. Los resultados obtenidos muestran una buena efectividad a nivel simulación en un problema numérico.

En [11] se desarrolla un controlador difuso tipo 2 para un sistema no lineal empleando una función de Lyapunov. Se derivan las condiciones de estabilidad en lazo cerrado y el esquema es validado en un motor síncrono de imanes

permanentes (PMSM, por sus siglas en inglés) con buenos resultados.

En este trabajo de investigación se propone el diseño del controlador para la posición del servomecanismo y además se analiza la estabilidad del mismo. Se propone una función candidata de Lyapunov para garantizar la estabilidad del sistema y se analizan criterios de desempeño con base en el error de seguimiento.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describen las características físicas del servomecanismo y el modelo matemático asociado. En la sección III se analiza el algoritmo de control, se describe el esquema de control a implementar, los conjuntos difusos tipo 2, la síntesis difusa de Lyapunov y el esquema a implementar en Simulink de Matlab. En las secciones IV y V se presentan los resultados obtenidos para el control de la posición y se describen las conclusiones obtenidas.

II. Equipo didáctico

El equipo didáctico Servo Trainer CE110 de TQ Education and Training Ltd constituye una representación del problema de control de servomecanismos y posee gran parte de las características de un sistema real.

Los principales componentes de este sistema son: la carga inercial (tiene conectado de forma permanente un disco y posteriormente se pueden agregar dos discos más); un sensor de velocidad; una carga activa en el caso del generador; un motor de corriente directa del servomecanismo; un embrague eléctrico con caja de velocidades y un eje de salida con el sensor de posición.

El embrague eléctrico permite desconectar el sistema de posición para estudiar el control de velocidad. La caja de velocidades permite disminuir la velocidad e incrementar el par [12].

El modelo matemático en el espacio de estados del servomotor se observa en la Ecuación (1).

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{1}{T}x_2 + \frac{G_1 G_2}{T}u \end{aligned} \quad (1)$$

Las variables y parámetros importantes del modelo son los siguientes:

- x_1 es la posición del servomotor en un rango de [-10,10]volts o [-180,180]grados.
- x_2 es la velocidad del servomotor en un rango de [-10,10]volts o [-2000,2000]r.p.m.
- G_1 es la ganancia del sensor de velocidad con valor de 0.9321
- G_2 es la ganancia del sensor de posición con un valor de 2.2475

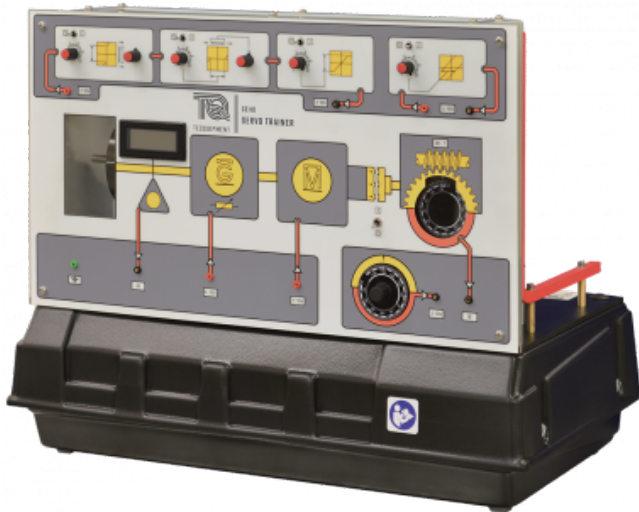


Figura 1: Servomecanismo

- T es la constante de tiempo del sistema, este valor varía dependiendo la carga del sistema; carga mínima: 0.4856 seg; carga media 1.1051 seg; carga máxima: 1.6652 seg.
- u es la señal de control en un rango de [-10,10]volts.

El problema de control consiste en lograr que la posición de la flecha del motor siga una referencia dada para las 3 diferentes cargas. En este trabajo se considera el seguimiento de una trayectoria senoidal de posición.

III. Algoritmo de control

Los sistemas difusos tipo 2 constan de un fusificador que convierte un valor real a un valor difuso; una máquina de inferencia difusa que aplica un razonamiento difuso para obtener una salida difusa; un procesador de salida que consta de un reductor que transforma un conjunto difuso tipo 2 a un conjunto difuso tipo 1 y un defusificador que traslada una salida a un valor preciso, esto se puede apreciar en la Figura 2.

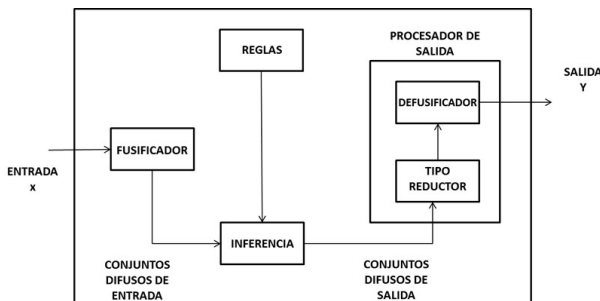


Figura 2: Componentes de un sistema difuso tipo 2

III.1. Esquema de control

En este trabajo se utiliza la lógica difusa tipo 2 y la teoría de estabilidad de Lyapunov en el diseño de los controladores para que la posición del servomecanismo logre el seguimiento de una trayectoria de referencia de forma independiente.

Este enfoque utiliza una función candidata de Lyapunov para obtener las reglas del controlador difuso tipo Mamdani. El diseño de la base de reglas del controlador utiliza exclusivamente las señales de error y la derivada del error; esto se debe a que la función candidata utiliza estas señales como variables difusas.

Para la realización de este trabajo se utilizará específicamente la teoría propuesta en [5] para el diseño de controladores difusos tipo 2 estables de tipo Mamdani. Este método permite derivar de una forma sistemática las reglas difusas que constituyen la base de reglas del controlador a diseñar.

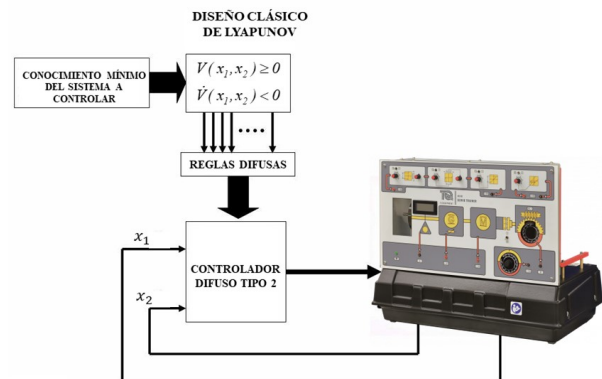


Figura 3: Esquema de control

III.2. Conjuntos difusos tipo 2

Las funciones de membresía en los sistemas difusos tipo 2 se caracterizan por una función de membresía superior y una función de membresía inferior; el intervalo ϵ entre estas dos funciones puede variarse para obtener un desempeño óptimo [13]. Cada una de estas funciones puede ser representada como una función de membresía de sistemas difusos tipo 1.

III.3. Síntesis difusa tipo 2 con enfoque de Lyapunov

Dada la siguiente función candidata de Lyapunov en la Ecuación (2):

$$V = \frac{1}{2}(e^2 + \dot{e}^2) \tag{2}$$

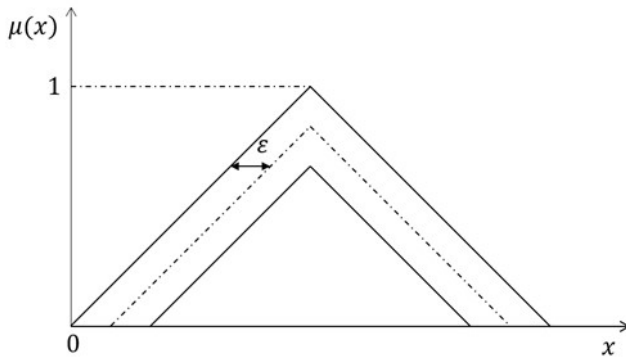


Figura 4: Conjunto difuso tipo 2

donde e es el error de seguimiento; diferenciando V se obtiene la Ecuación (3):

$$\dot{V} = e\dot{e} + \dot{e}\ddot{e} \quad (3)$$

sustituyendo $w = \ddot{e}$ en la Ecuación (3) se obtiene la Ecuación (4):

$$\dot{V} = e\dot{e} + \dot{e}w \quad (4)$$

Se requiere entonces que se cumpla la Ecuación (5):

$$\dot{V} = e\dot{e} + \dot{e}w < 0 \quad (5)$$

Analizando la Ecuación (5), se pueden establecer las reglas difusas para w de tal forma que la desigualdad se cumpla:

- Si e es positivo y \dot{e} es positivo, entonces w es negativo grande.
- Si e es negativo y \dot{e} es negativo, entonces w es positivo grande.
- Si e es positivo y \dot{e} es negativo, entonces w es cero.
- Si e es negativo y \dot{e} es positivo, entonces w es cero.

En la Figura 5 se aprecian los conjuntos difusos para el error, los conjuntos difusos para la derivada del error se aprecian en la Figura 6, los conjuntos difusos para w se observan en la Figura 7.

El esquema de control implementado en Simulink de Matlab, es el que se aprecia en la Figura 8.

IV. Resultados

En este trabajo se utiliza para realizar las simulaciones la herramienta desarrollada por [9] para implementar el sistema difuso tipo 2 que genera el valor de w .

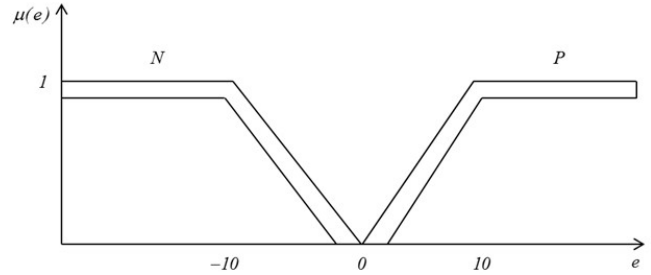


Figura 5: Conjuntos difusos para el error

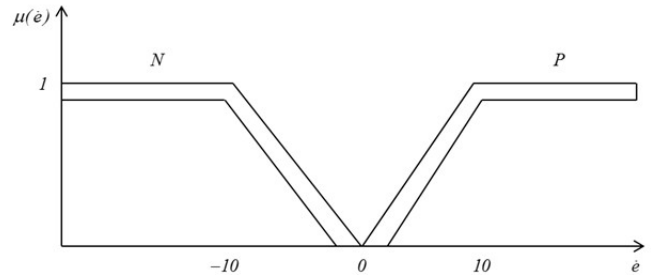


Figura 6: Conjuntos difusos para la derivada del error

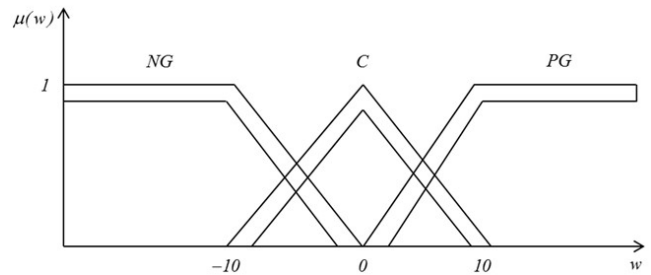


Figura 7: Conjuntos difusos para w

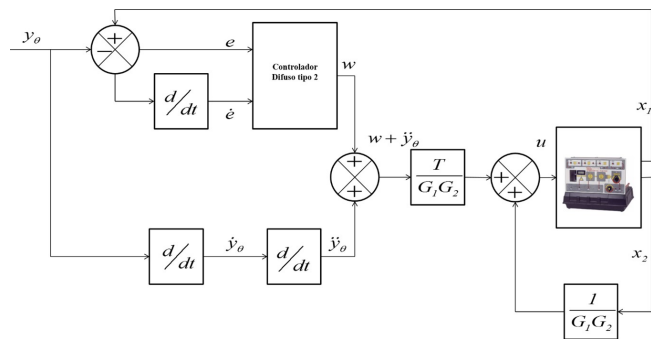


Figura 8: Esquema de control para la posición angular

La señal de referencia que se utiliza para la simulación es $y_\theta = 108\text{sen}0.3t$ grados, que corresponde a una onda senoidal de amplitud de 108 grados, ya que cada volt de entrada al equipo corresponde a 18 grados. El esquema de control desarrollado (CDT2) es comparado con un controlador difuso tipo 1 (CDT1). La carga utilizada

es la máxima (3 discos). El intervalo de separación en los conjuntos difusos es $\varepsilon = 0.1$, el cual presenta mejor desempeño.

Se utilizan 2 criterios de desempeño para evaluar el comportamiento de ambos controladores; la integral del valor absoluto del error (IAE) y la integral del error cuadrático (ISE).

El seguimiento de la señal de referencia para ambos esquemas de control se muestra en la Figura 9.

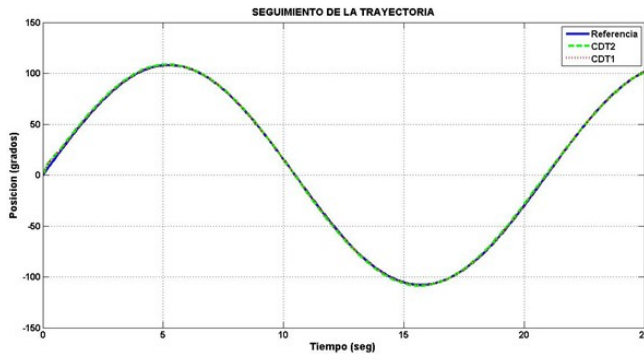


Figura 9: Seguimiento de la trayectoria CDT2 vs CDT1

El error presentado por ambos controladores se aprecia en la Figura 10. La comparación entre ambas señales de control generadas se puede apreciar en la Figura 11.

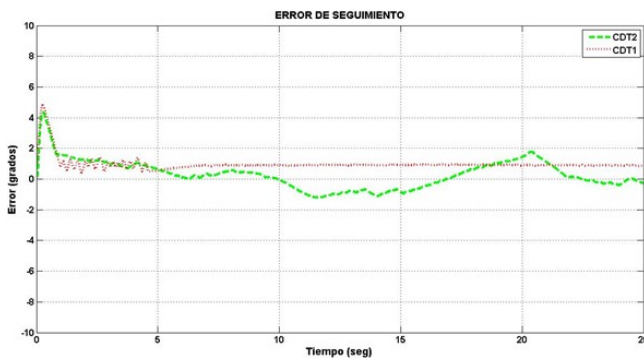


Figura 10: Error de seguimiento CDT2 vs CDT1

El comportamiento de las derivadas de la función de Lyapunov para ambos casos se muestra en la Figura 12.

La comparación entre los índices de desempeño propuestos son los siguientes: para el controlador propuesto en este trabajo, $IAE = 1.025$, $ISE = 0.065$; para el controlador difuso tipo 1, $IAE = 1.343$, $ISE = 0.083$. Como se puede apreciar en las simulaciones el controlador propuesto en este trabajo muestra un mejor desempeño. Las características de la derivada de la función de Lyapunov cumple con las condiciones necesarias para garantizar estabilidad del controlador.

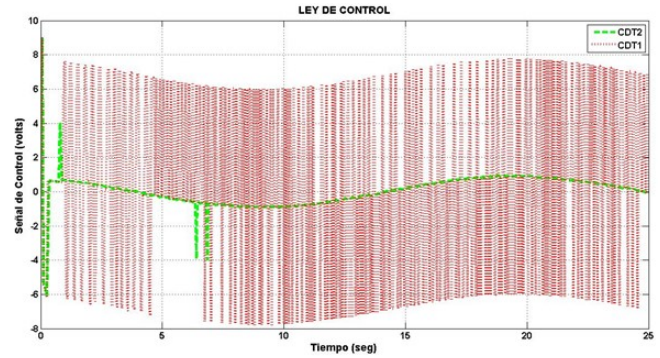


Figura 11: Señales de control CDT2 vs CDT1

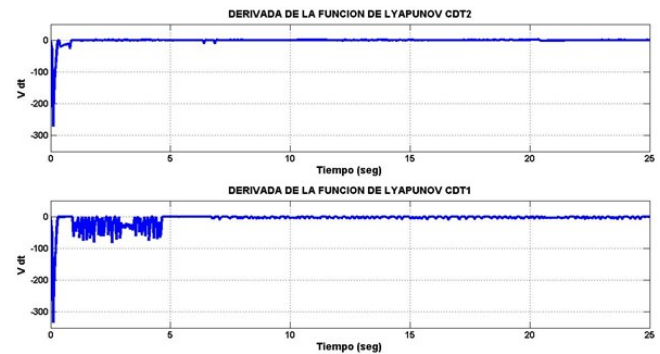


Figura 12: Derivadas de la función de Lyapunov CDT2 vs CDT1

V. Conclusiones

De este trabajo se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El diseño de controladores estables, basado en la síntesis difusa de Lyapunov en combinación con la lógica difusa tipo 2 muestra buenos resultados en su aplicación a los servomecanismos. Es una técnica efectiva ya que logra buenos desempeños en los índices basados en el error.

La función de Lyapunov permite establecer una base de reglas prácticas para su aplicación, aunque la lógica difusa tipo 2 requiere de un esfuerzo computacional importante para su implementación.

2. De manera general, se muestran los buenos resultados obtenidos de la aplicación del CDT2 a los servomecanismos. Este esquema de control se basa en la estabilidad de la función de Lyapunov y muestra los índices de desempeño basados en el error con mejor comportamiento que el controlador difuso tipo 1.

Las señales de control generadas por el CDT2 se muestran suaves y dentro de los límites del actuador, aunque para carga media y máxima en el control de la posición, al principio genera una señal alta en volts, pero después de unos segundos toma valores

bajos de voltaje.

3. Esta técnica de control puede extenderse al estudio de los procesos industriales, ya que con el tiempo los sensores generan incertidumbre en las mediciones provocando errores que pueden ser corregidos por este tipo de esquemas.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad Tecnológica de Campeche todo el apoyo para su realización.

Referencias

- [1] L. A. Zadeh. «Fuzzy Sets». En: *Information and control*. Vol. 8. 1965, págs. 338-353.
- [2] D.W. Kwak H.J. and Kim y G.T. Park. «A New Fuzzy Inference Technique for Singleton Type-2 Fuzzy Logic Systems». En: *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. 9. 2012, págs. 1-7.
- [3] Y. Maldonado y O. Castillo. «Genetic Design of an Interval Type-2 Fuzzy Controller for Velocity Regulation in a DC Motor». En: *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. 9. 2012.
- [4] O Castillo. «Design of Stable Type-2 Fuzzy Logic Controllers». En: *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. 2012, págs. 49-61.
- [5] M. Margaliot y G. Langholz. «Fuzzy Lyapunov-based approach to the design of fuzzy Controllers». En: *Fuzzy Sets and Systems, Elsevier*. Vol. 106. 1999, págs. 49-59.
- [6] X. Lu y M. Liu. «Optimal Design and Tuning of PID-type Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers for Delta Parallel Robots». En: *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. 13. 96. 1999, págs. 49-59.
- [7] Ch. Hicham, K. Mehdy y A. A. Abdullah. «Adaptive Interval Type-2 Fuzzy Logic Control for PMSM Drives With a Modified Reference Frame». En: *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Vol. 64. 5. 2017.
- [8] E. R. Moo y D. Romero. «Controlador difuso tipo-2 para el control de velocidad de un motor de CD sujeto a un disturbio grande». En: *Computación y Sistemas*. Vol. 22. 2. 2018, págs. 521-536.
- [9] N. R. Cazares, R. T. Aguilar y O. Castillo. «Designing Type-1 Fuzzy Logic Controllers via Fuzzy Lyapunov Synthesis for Nonsmooth Mechanical Systems». En: *Congreso Anual 2009 de la Asociación de México de Control Automático*. 2009.
- [10] T. Zhao, J. Xiao e Y. Li. «A fuzzy Lyapunov function approach to stabilization of interval type-2 T-S fuzzy systems». En: *25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*. 2013, págs. 2234-2238.
- [11] L. Shanmugam e Y. H. Joo. «Design of Interval Type-2 Fuzzy-Based Sampled-Data Controller for Nonlinear Systems Using Novel Fuzzy Lyapunov Functional and its Application to PMSM». En: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. Vol. 51. 1. 2021, págs. 542-551.
- [12] «TecEquipment Ltd.» En: *CE110 Servo Trainer Handbook*. 0.
- [13] N. Cazares, L. Tupak y O. Castillo. «Designing Type-1 Fuzzy Logic Controllers via Fuzzy Lyapunov Synthesis for Nonsmooth Mechanical Systems: The Perturbed Case». En: *Computación y Sistemas*. Vol. 14. 3. 2011, págs. 283-293.

Monitoring and automation modules for a hydroponic system using fuzzy logic and computer vision

Módulos de supervisión y automatización de un sistema hidropónico mediante lógica difusa y visión por computadora

David Josué Esquivel-Godoy^{*1}, Marco Aurelio Nuño-Maganda¹, Yahir Hernández-Mier¹, and Said Polanco-Martagón¹

¹Universidad Politécnica de Victoria (UPV), Maestría en Ingeniería,
Av. Nuevas Tecnologías 5902, Parque Científico y Tecnológico de Tamaulipas, 87138 Cd Victoria, Tamps.
{1730051,mnunom,yhernandezm,spolancom}@upv.edu.mx

Abstract

Hydroponic systems are related to the cultivation of plants without the need for soil, simply complying with the techniques based on the nutritional needs of plants, supplying their roots with a nutrient solution of minerals. In this paper, we implemented a DFT hydroponic system (Deep Flow Technique), which performs specific automated tasks to control the growth of plants, these tasks are: an algorithm capable of performing an automatic control, based on the methodology of fuzzy logic, where the system environmental parameters are regulated, using the antecedents, consequentials and inference rules given by the expert in the area. We developed a remote IoT-based monitoring of the state of plants germination using the segmentation of the seedling. The system requires the interaction of the IoT for monitoring the parameters obtained, using the MQTT protocol to exchange information using a mosquitto broker-server on a Raspberry Pi 3 B+. In addition, we use an ESP32 microcontroller to exchange information with the broker-server to obtain the system parameters. These parameters are observed in two interfaces, a mobile one and a server, to monitor the humidity in the environment, its potential hydrogen (pH), electrical conductivity, and the temperature of the nutrient solution.

Keywords— Fuzzy Logic, Hydroponics, Computer Vision.

^{*} Autor de correspondencia

Resumen

Los sistemas hidropónicos se basan en el cultivo de plantas sin la necesidad del suelo, simplemente cumpliendo las técnicas nutricionales de las plantas, suministrando a sus raíces una solución nutritiva de minerales. Dentro de esta investigación, se implementó un sistema hidropónico DFT (Deep Flow Technique), el cual realiza tareas específicas automatizadas para controlar el crecimiento de las plantas, dichas tareas son: un algoritmo capaz de realizar un control automático, utilizando la metodología de la lógica difusa, donde se regulan los parámetros ambientales del sistema, utilizando los antecedentes, consecuentes y reglas dadas por el experto del área. La observación del estado de germinación, se optó por métodos de visión por computadora, generando una segmentación en los semilleros. El uso del IoT (Internet of Things) para el monitoreo de los parámetros, utilizando el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), para realizar el intercambio de información, utilizando un broker-servidor mosquitto en una Raspberry Pi 3 B+. Se utilizó un microcontrolador ESP32, para el intercambio de información, y son observados en dos interfaces: una móvil y un servidor. Estas interfaces monitorean la humedad, su potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica y la temperatura de la solución nutritiva.

Palabras clave— Lógica Difusa, Hidroponía, Visión por Computadora.

I. Introducción

De acuerdo con el World Bank la economía de México depende de un 3.8 % del PIB a la agricultura en el 2020, colocándonos como la séptima potencia agrícola mundial [1].

Debido al aumento en la demanda de alimentos y lo que conlleva gastos de mano de obra, además que el último año el sector agrícola sufre de sequías debido a los problemas climáticos que se encuentran en el país, esto ha impulsado a la sociedad a buscar alternativas viables para aumentar la producción agrícola y así generar un aumento de exportación de alimentos. Por lo cual, hoy en día los agricultores se sienten motivados en experimentar con alternativas de agricultura de interiores como lo es: la acuaponía, aeroponía e hidroponía.

Dichas técnicas no conllevan al uso de suelo o algún sustrato, dando como resultado la mejora de condiciones económicas y en la agricultura. Además, generar cambios en el entorno agrícola da como lugar a alternativas que pueden generarse en todo el país, para aumentar la producción en un campo laboral específico, en el cual la agricultura viene siendo el mayor punto para nuestro país.

En este artículo, se propone un sistema de monitoreo y automatización de un sistema hidropónico, utilizando lógica difusa y visión por computadora. Este artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección II, se revisa el marco teórico. En la sección III, se describe la metodología seguida para la implementación de la solución propuesta. En la sección IV, se describen los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección V, se establecen las conclusiones y el trabajo futuro.

II. Marco teórico

II.1. Sistema hidropónico DFT

Este tipo de sistemas se basa en un método de cultivación en el cual las raíces de las plantas son colocadas en mantos de aguas profundas de una solución nutritiva. Los sistemas DFT son unos de los más utilizados en el mundo, ya que no cuenta con una limitante para su construcción. La principal función de este tipo de sistema es realizar una circulación de la solución nutritiva por periodos donde las raíces de las plantas se encuentren las 24 horas del día en el agua. Esta técnica se clasifica como un método circulante, ya que el sistema se encuentra cerrado, un diseño básico se puede observar en la Figura 1 [2].

II.2. Lógica difusa en la hidroponía

La lógica difusa es un método matemático, en el cual se busca imitar el funcionamiento de las expresiones lingüísticas en términos numéricos. De esa inspiración se parte

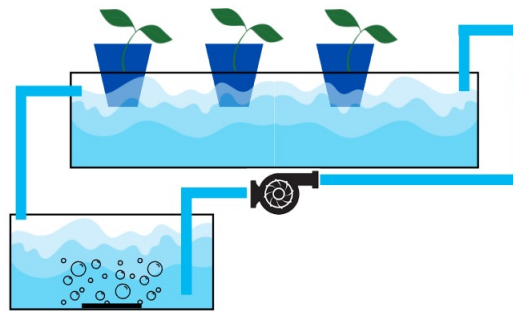


Figura 1: Diseño básico de un sistema DFT

de la extracción de un modelo de unidades conectadas entre sí, que generan, transmiten y refuerzan conceptos para llegar a conclusiones determinadas y consolidarlas como conocimiento con base en los antecedentes, consecuentes y reglas de inferencia específicas.

Del modo en el que nosotros expresamos el cómo se encuentra un sistema, en términos lingüísticos, la lógica difusa trabaja para tomar dichas expresiones y generar un cambio de una forma más precisa. En el ámbito de la hidroponía, el conocer o predecir valores acerca de los parámetros de un sistema son de suma importancia, ya que suelen perder información en alguna implicación. La misión de la lógica difusa es generar un controlador con base de ciertos puntos de un experto, que permita mantener los parámetros óptimos para un sistema hidropónico.

II.3. El Internet de las Cosas (IoT) en la hidroponía

El Internet de las Cosas describe los objetos que se encuentran a nuestro alrededor que lleven incorporados algún sensor, software o alguna otra tecnología en sí, todo esto con el fin de interactuar entre dispositivos y sistemas a través del Internet, además de ser posible almacenar datos en la nube. Con base a esto, las IoT en la hidroponía pueden realizar monitoreos de parámetros que pueden generar un sistema hidropónico, como lo es: su nivel de pH, su conductividad eléctrica, la temperatura del agua, la humedad en el ambiente, entre otras más.

III. Revisión de la literatura

En [3] se llevó a cabo la implementación de una red neuronal profunda en un sistema hidropónico para la obtención de los parámetros de pH dentro de una solución nutritiva con el uso de redes bayesianas y aprendizaje automático mandando los datos a un servidor utilizando las IoT.

En [4] llevó a cabo la implementación de una red neuronal para monitoreo del crecimiento de plantas de lechuga

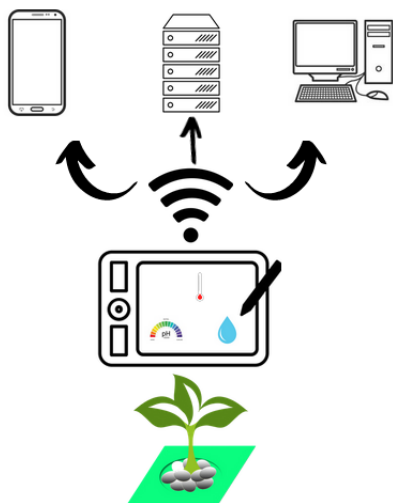


Figura 2: Modelo IoT

en un sistema NFT (Nutrient Film Technique), utilizando una cámara y la captura de imágenes para obtener distintas series temporales y así calcular los pixeles verdes y realizar el entrenamiento para la segmentación de las plantas.

En [5] llevó a cabo la implementación de un control difuso utilizando el método de Mamdani para un sistema DFT para controlar los parámetros solamente del pH en la solución nutritiva del sistema.

En [6] llevó a cabo la implementación de un control utilizando Node-MCU para obtener los parámetros de un sistema hidropónico tipo NFT, donde dicho control envía los parámetros del sistema mediante un protocolo de mensajería MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).

En [7] llevó a cabo la implementación de un control difuso, utilizando el método de Sugeno para un sistema hidropónico de tipo DFT, para controlar los parámetros del pH, la humedad y la temperatura en la solución nutritiva, para después enviar los parámetros obtenidos a un servidor en la red.

IV. Metodología

IV.1. Sistema DFT

De acuerdo con la estructura básica de un sistema hidropónico de tipo DFT, este se creó mediante una estructura de tubos de PVC de diferentes medidas. Los tubos del sistema donde se encuentran las plantas son 8 tubos de 3 pulgadas, donde cada tubo se colocó intercalados a 22 centímetros de separación, y cuentan con 5 a 6 barrenos de 2 pulgadas.

Cada una de las medidas son para el uso óptimo del sembradío para este sistema, además de que su estructura se

Tabla 1: Comparativa entre sistemas similares

Sistema	Tipo de Sistema	Tipo de control	Sensores
1	NFT	Red Neuronal profunda	pH, Temperatura
2	NFT	Red Neuronal	Cámara
3	DFT	Control Difuso Mamdani	CE, pH, Temperatura
4	NFT	Control con Node-MCU	Temperatura, pH, CE, Humedad
5	DFT	Control Difuso Sugeno	pH, Temperatura
Sistema Propuesto	DFT	Control Difuso Mamdani	CE, pH, Temperatura, Humedad

adecua a una mesa cuadrada utilizando conexiones de tubería de tipo codo y T.

Para el sistema de alimentación se utilizó una bomba periférica de agua eléctrica de 1 pulgada y 1/2 caballos de fuerza, los cuales son suficientes para generar el caudal que necesita el sistema. El uso de conexiones para la bomba, se basa en tubos de 1 pulgada, utilizando una separación mediante conexiones tipo T y llaves de paso, para la regulación correcta entre canales de riego.

Además, se realizó una salida de retorno en la bomba para generar una mejor oxigenación hacia la solución nutritiva. Por último, se realizó una salida de desagüe hacia el tanque donde se encuentra la solución, el sistema se puede observar en la Figura 3.



Figura 3: Sistema hidropónico DFT propuesto

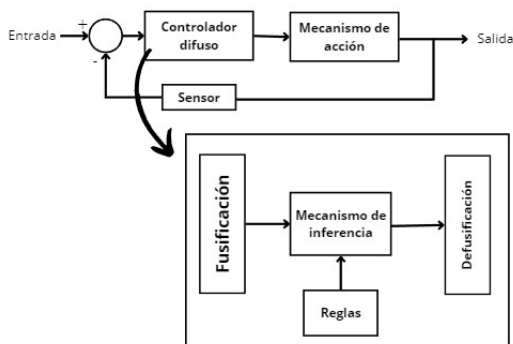


Figura 4: Modelo de un controlador difuso

IV.2. Lógica difusa

El modelo de un controlador difuso se divide en 4 etapas, se pueden observar en la Figura 4.

Parámetros previos: En la primer etapa se deben tener en cuenta las entradas y salidas del sistema, ya que estas son las encargadas de ser los antecedentes y consecuentes de las reglas de inferencia, además de generar sus propios universos de discurso dentro de los valores de referencia en el sistema.

La entrada del controlador es el error en los sensores y su salida es un poco más interesante, como se mencionó en la Sección I, el controlador empleado es un ESP32, donde se utilizarán sus salidas analógicas para generar un PWM, que genere el control de voltaje para las bombas peristálticas y llegar a un parámetro de referencia adecuado para el sistema, por lo tanto esta será la salida. Enseguida se obtiene la semántica de las entradas y salidas utilizando funciones lineales o no lineales para nuestros términos lingüísticos, estas funciones pueden ser triangulares, trapezoidales, tipo sigmoide, campana de bell, entre otras.

En nuestro caso se utilizan funciones lineales: triangulares y trapezoidales. Esto, por el uso práctico por el IDE de Arduino para la programación del ESP32, ya que solo puede manejar este tipo de funciones.

Para la entrada sus 5 términos lingüísticos para el error son:

- Error Negativo Grande (ENG)
- Error Negativo Pequeño (ENP)
- Error Cero (EC)
- Error Positivo Pequeño (EPP)
- Error Positivo Grande (EPG)

Para la salida sus 5 términos lingüísticos para el PWM son:

- PWM Negativo Grande (PWMNG)
- PWM Negativo Pequeño (PWMNP)
- PWM Cero (PWMC)

- PWM Positivo Pequeño (PWMPP)
- PWM Positivo Grande (PWMPG)

Fusificación: En esta etapa se evalúan las funciones lineales propuestas para el error, donde se toma el error actual obtenido del sensor con el valor anterior del mismo.

Mecanismo de inferencia y reglas de inferencia: Para esta etapa se utiliza el método de Modus Ponens, utilizado para evaluar reglas de tipo SI-ENTONCES, que son dadas por un experto en el sistema, para realizar conclusiones parciales, en este caso, las reglas para el sistema se observan en la Tabla 2.

Tabla 2: Reglas: Conclusiones parciales

Si ENG	entonces PWMNG
Si ENP	entonces PWMNP
Si EC	entonces PWMC
Si EPP	entonces PWMPP
Si EPG	entonces PWMPG

Dichas conclusiones en programación, se representa mediante una disyunción refiriéndose a la toma de un mínimo de los valores de nuestras funciones, pero para generar la conclusión final del control, se utiliza la unión de las conclusiones parciales utilizando el valor máximo entre cada una de ellas.

Defusificación: Para obtener la curva de control del sistema, se utiliza el método del centroide basándonos en su metodología para obtener los datos deseados en términos matemáticos con base a los términos lingüísticos dados.

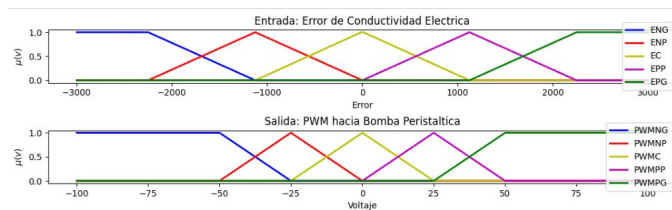


Figura 5: Funciones de entrada y salida de la conductividad eléctrica

IV.3. Circuito de conexiones

Para el diseño del circuito de conexiones, se utilizaron los siguientes sensores:

- Sensor de humedad (Dht11)
- Sensor de niveles de potencial de hidrógeno (PH-4502C)
- Sensor de conductividad eléctrica (TDS meter v1)
- Sensor de temperatura de líquidos (DS18B20)

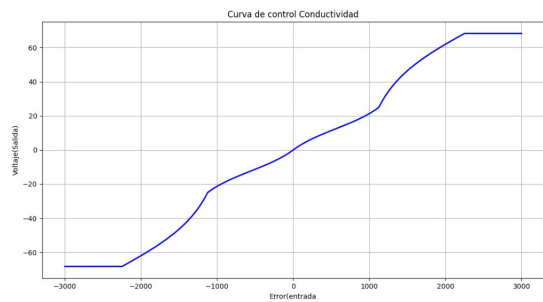


Figura 6: Curva de control para las bombas peristálticas del suministro de elevador y reductor de pH

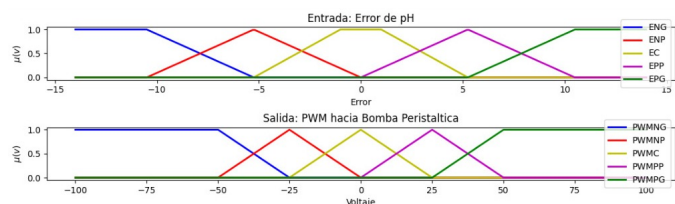


Figura 7: Funciones de entrada y salida del pH

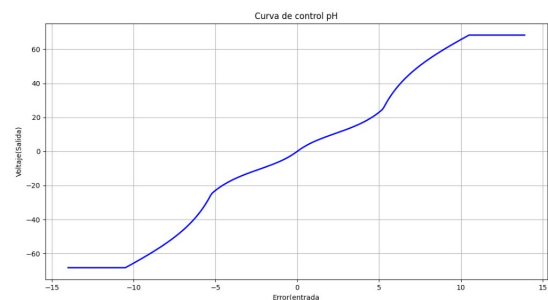


Figura 8: Curva de control para las bombas peristálticas del suministro de solución nutritiva y pH

Para la conexión inalámbrica se utilizó una Raspberry Pi 3 modelo B+ y un microcontrolador ESP32.

El microcontrolador ESP32 realiza la manipulación total de los actuadores del sistema como lo es:

- El control de las bombas peristálticas, estas suministran los nutrientes para el control del pH y conductividad eléctrica en la solución nutritiva.
- El encendido y apagado de la bomba eléctrica y del agitador de agua.
- La obtención de datos generados por los sensores analógicos de pH, temperatura del agua, humedad en el ambiente y de la conductividad eléctrica.

Las conexiones se muestran en la Figura 9.

IV.4. El Internet de las Cosas en el sistema

El IoT en la hidroponía ha sido de suma importancia, para la visualización de parámetros respecto a los senso-

res que cuenta el sistema, por lo tanto, para la aplicación de las mismas, se realizó un broker-servidor utilizando la metodología mosquito y el protocolo de mensajería MQTT. Dicho servidor, muestra la suscripción y publicación de datos en tiempo real, sobre los valores que se obtienen de los 4 sensores, todo esto, mediante la suscripción al servidor utilizando la Raspberry Pi y la publicación de los datos obtenidos de la conexión inalámbrica con el ESP32.

IV.5. Monitoreo de germinación de la planta

Germinación

La germinación de la planta en el caso de la investigación se optó con dos tipos de plantas: lechuga y cilantro, las cuales fueron plantadas con una combinación de sustratos de 1/4 de Vermiculita exfoliada, 1/4 de Perlita y 2/4 de tierra negra, donde dichas plantas fueron sometidas a 3 métodos diferentes de germinación:

- Método 1. Es el método clásico de germinación al colocar en semilleros las semillas de las dos plantas directamente al sustrato y suministrando agua constante y otra con una solución nutritiva.
- Método 2. Es un método que consta en un recipiente profundo en el cual se encuentra el agua y las plantas directamente.
- Método 3. Este método consta de humedecer antes y después el sustrato en los semilleros para después colocar un manto húmedo por encima cubriéndolo del exterior y dejándolo reposar por 3 días.

Monitoreo

Para el monitoreo se utilizó el lenguaje de programación Python y sus librerías de OpenCV, realizando la captura de video en tiempo real utilizando una cámara web, que se encuentra orientada hacia los semilleros donde se realizó un método de segmentación, primeramente para un mejor manejo del video se optó en el cambio de escala de color de BGR a un HSV.

Después se aplicó una máscara de valores para observar la tonalidad de verde que se encuentra en el semillero al generar una binarización y después la segmentación al tomar los valores de verde que se detecten dentro de la zona, y así realizar capturas cada día para observar el crecimiento de las plantas. El trabajo se puede observar en la Figura 10.

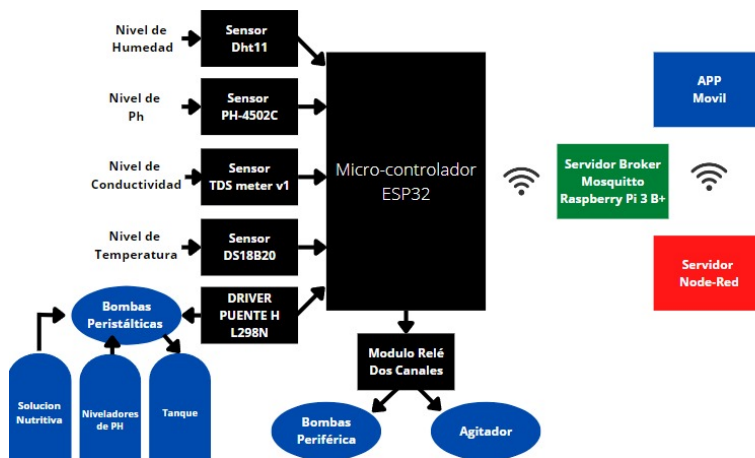


Figura 9: Modelo del circuito de conexiones



Figura 10: Segmentación de la germinación de las plantas

```

Temperatura de la solución:27.83°C
Humedad en el ambiente:50.547%
Conductividad eléctrica:1205.486us/cm
Potencial de hidrogeno:6.38Ph

Temperatura de la solución:26.401°C
Humedad en el ambiente:45.141%
Conductividad eléctrica:1236.988us/cm
Potencial de hidrogeno:6.125Ph

Temperatura de la solución:26.84°C
Humedad en el ambiente:46.567%
Conductividad eléctrica:1275.444us/cm
Potencial de hidrogeno:7.068Ph
    
```

Figura 11: Publicación de datos en el broker mosquitto

V. Implementación y resultados

V.1. Implementación del Controlador Difuso

Para la implementación de controlador se utilizaron los valores lingüísticos de entrada establecidos en la *Sección IV.2 Lógica difusa*, estos términos son utilizados de dos formas: para la conductividad eléctrica en valores de error entre [-3000,3000] y de pH con valores de error entre [-14,14].

La salida del PWM es la misma para las dos situaciones, esta está dada con base en una escala de porcentaje de [-100,100] para después utilizar el método del centroide y obtener la curva de control. Las funciones de entrada y salida se muestran en las figuras 5 y 7, y sus curvas de control en las figuras 6 y 8.

V.2. Implementación de las IoT

El broker-servidor de mosquitto se implementó, con el motivo de utilizar el protocolo MQTT (Figura 11), donde se encuentran conectadas dos interfaces gráficas: una siendo un servidor en la red utilizando el entorno de desarrollo de Node-Red (Figura 12) y la otra siendo una aplicación móvil como se puede observar en la Figura 13, donde las interfaces reciben los datos enviados a través del ESP32 y así monitorean los parámetros que existen en el sistema hidropónico con base en la solución nutritiva en la que se encuentra, dichos parámetros son: la temperatura, la humedad, la conductividad eléctrica y el pH.

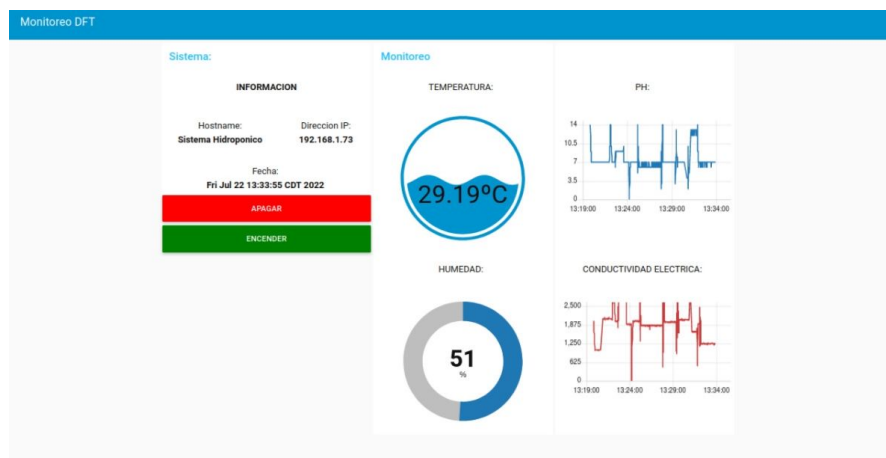


Figura 12: Publicación de datos en el servidor node-red

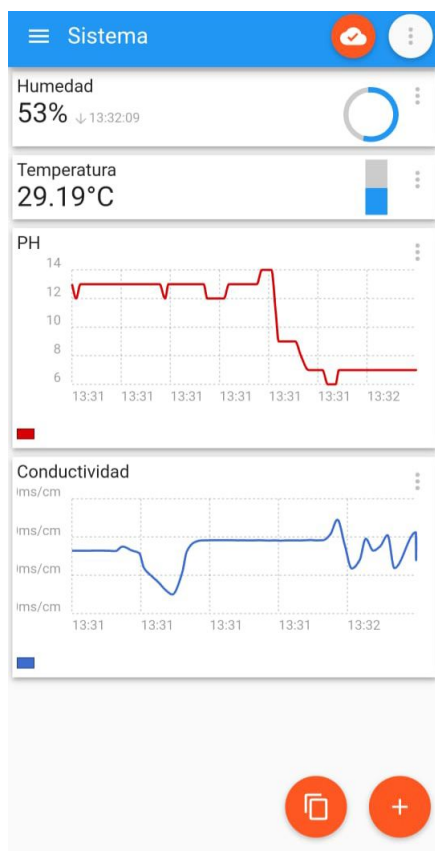


Figura 13: Publicación de datos en la aplicación móvil

VI. Conclusiones y trabajo futuro

La agricultura es una de las demandas de gran impacto en la economía del país. Ahora bien, conociendo las nuevas técnicas agrícolas, como lo es el caso de la hidroponía, permite que la producción de cosecha aumente significativamente.

Hoy en día, las tecnologías aumentan y las innovaciones se aprenden, al grado de implementar nuevos métodos, como lo es la automatización de estos sistemas y así mismo la aplicación del IoT. Este permite tener una comunicación con los sembradíos del sistema, al poder observar y determinar sus condiciones ambientales y su entorno, dicho esto, se logró desarrollar un controlador difuso para automatizar el sistema y también la aplicación del IoT para realizar el monitoreo de los sembradíos.

Además de crear un servidor y una aplicación móvil para observar los parámetros, gracias al protocolo de mensajería MQTT, que fue de gran ayuda para la interacción de mensajería entre dispositivos.

Respecto al trabajo futuro se toma como referencia ciertas tareas, primeramente la validación completa del sistema de control difuso dentro de la solución nutritiva, además de generar diferentes fórmulas nutricionales de pruebas, para el crecimiento de las plantas, la integración de los sensores dentro del sistema hidropónico DFT, así como la validación del esquema de sensado remoto y por último ampliar el rango de cultivos utilizados para este sistema.

Referencias

- [1] World Bank. *Agricultura, valor agregado (% del PIB)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS>. [Online; Accedido 14/Mayo/2022]. 2020.
- [2] Sagar J Dholwani y col. «Introduction of Hydroponic system and it's Methods». En: *International Journal of Recent Technology Engineering* 3.3 (2018), págs. 69-73.
- [3] Manav Mehra y col. «IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks». En: *Computers and electronics in agriculture* 155 (2018), págs. 473-486.

- [4] Mark L Tenzer y Nicholas C Clifford. «A Digital Green Thumb: Neural Networks to Monitor Hydroponic Plant Growth». En: *2020 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*. IEEE. 2020, págs. 1-6.
- [5] Adnan Rafi Al Tahtawi y Robi Kurniawan. «Kendali pH untuk sistem IoT hidroponik deep flow technique berbasis fuzzy logic controller». En: *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer* 8.4 (2020), págs. 323-329.
- [6] Nivesh Patil y col. «Monitoring of Hydroponics System using IoT Technology». En: *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 7.6 (2020), págs. 1455-1458.
- [7] Usman Nurhasan y col. «Implementation IoT in System Monitoring Hydroponic Plant Water Circulation and Control». En: *Int. J. Eng. Technol* 7.4.44 (2018), pág. 122.

Custom Content Management System for the administration of the Website of the Institute of Higher Education of Tabasco Santo Tomás de Aquino

Sistema Gestor de Contenidos a la medida para la administración del sitio Web del Instituto de Educación Superior de Tabasco Santo Tomás de Aquino

Jorge Cein Villanueva-Guzmán^{*1}, Ezequiel Gómez-Domínguez¹, and Carlos Raúl Muñoz-Rodríguez¹

¹ *Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH),*

Departamento de Sistemas y Computación,

Carretera Villahermosa - Frontera Km. 3.5 Ciudad Industrial Villahermosa, Tabasco, Mexico. C.P. 86010.

{jorge.vg, ezequiel.gomezd, carlos.mr}@villahermosa.tecnm.mx

Abstract

A Content Management System its defined as a system used to improve and simplify the administration and updating of information in a Website. The implementation of this tool greatly improves the interrelation between the different areas in charge of it. In this stage, we focus on the development of the management system using new technologies in order to offer to the users a tool with a friendly interface to facilitate publication and dissemination in the institutional Website.

Keywords— CMS, Website, Yii2

Resumen

Un Sistema Gestor de Contenidos se define como un sistema que se emplea para mejorar y simplificar la administración y actualización de la información de un sitio Web. La implementación de esta herramienta mejora en gran manera la interrelación entre las distintas áreas encargadas de la misma. En esta etapa, nos enfocamos en el desarrollo del sistema gestor empleando nuevas tecnologías con el objetivo de ofrecer a los usuarios una herramienta con una interfaz amigable para facilitar la publicación y difusión en el sitio Web institucional.

Palabras clave— CMS, Sitio Web, Yii2

^{*}Autor de correspondencia

I. Introducción

Los sitios Web surgieron con la necesidad de compartir información con más personas sin importar su ubicación geográfica. El Internet, sin duda alguna, es parte fundamental de la gran evolución en el modo de ver y crear desde una simple página, hasta complejos sitios Web.

En esta evolución, pasamos de simples páginas estáticas con textos sin formatos y sencillos enlaces, a grandes páginas llenas de funcionalidades que brindan una mejor experiencia al usuario final.

La necesidad de mantener actualizados estos sitios y generar páginas de una manera automatizada, permitió el nacimiento de distintos lenguajes de programación orientados a crear páginas a partir de información previamente almacenada en un sistema gestor de base de datos.

A partir de ello, a finales de los años noventas, se crearon las primeras herramientas que permitían a los usuarios mediante el uso de formularios Web, almacenar información en los gestores de base de datos para posteriormente poder ser visualizada por los usuarios finales; con esto, se mejoró significativamente lo complejo que anteriormente era el mantener las páginas de un sitio Web.

Estas herramientas de colaboración para la gestión de contenidos de un sitio Web tomaron el nombre de CMS [1] (siglas en inglés de Content Management System) y es el nombre con el que actualmente se conocen.

Actualmente estas herramientas son usadas en millones de sitios Web de todo tipo de organizaciones desde públicas hasta grandes corporaciones, y cabe destacar que existen muchas versiones con licencias libres, así como también con licencias con costos y finalmente desarrollos propios.

Un CMS ayuda a crear y gestionar los sitios Web y su contenido con una mínima sobrecarga técnica, para hacer contenidos mejores en lugar de actuar como gestor de proyectos o de tráfico. Al proporcionar una solución sencilla y rentable para la gestión de contenidos, un CMS les permite a las empresas gestionar y distribuir sus contenidos sin invertir en un equipo de desarrollo de contenidos de tiempo completo [2].

En este artículo se presenta el resultado del desarrollo de un CMS para el Instituto de Educación Superior de Tabasco Santo Tomás de Aquino, el cual fue realizado a la medida empleando nuevas tecnologías y herramientas para agilizar el desarrollo.

II. Metodología

La metodología de desarrollo de software empleado fue RUP (siglas en inglés de Rational Unified Process), desarrollado por la empresa Rational Software propiedad de IBM. Junto con el Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés), constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, diseño, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos [3].

RUP divide el proceso en cuatro fases, dentro de las cuales se realizan pocas pero grandes y formales iteraciones en un número variable según el proyecto. En la Figura 1 se muestra como varía el esfuerzo asociado a las disciplinas según la fase en la que se encuentre el proyecto RUP [3, 4].

Durante el proceso de desarrollo se realizaron una serie de iteraciones con la institución para alcanzar los objetivos establecidos al inicio del proyecto.

Para cada iteración se seleccionan algunos Casos de Uso, se refinan su análisis y diseño y se procede a su implementación y pruebas. Se realiza una pequeña cascada para cada ciclo. Se realizan iteraciones hasta que se termine la implementación de la nueva versión del producto.

En la fase de transición se pretende garantizar que se tiene un producto preparado para su entrega a la comunidad de usuarios.

III. Tecnologías y herramientas

Para el desarrollo del Sistema Gestor de Contenidos a la medida para la administración del sitio Web del Instituto de Educación Superior de Tabasco Santo Tomás de

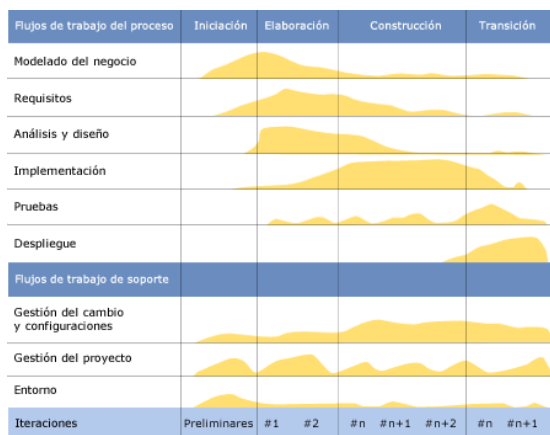


Figura 1: Fases de la metodología RUP

Aquino, se emplearon los siguientes lenguajes y tecnologías:

- HTML5. Este lenguaje se usó para crear la estructura de la herramienta, y que este pueda ser interpretado en varios navegadores de Internet.
- JavaScript. Se usó para las funciones dinámicas, y para el envío de parámetros en la herramienta ETL (siglas en inglés de Extract - Transform - Load) [5]. ETL es un método de automatización de los scripts (conjunto de instrucciones) que se ejecutan detrás de escena para mover y transformar datos.
- CSS3. Este lenguaje se usó para darle estilo al diseño de la herramienta.
- PHP. Este es el lenguaje del servidor que interactúa con la base de datos según la petición del cliente.
- Yii2 Framework. Yii es un marco PHP basado en componentes de alto rendimiento para desarrollar aplicaciones Web modernas rápidamente. El nombre Yii (pronunciado Yeeo [ji:]) significa "simple y evolutivo" en chino. También se puede considerar como un acrónimo de "Yes It Is" [6].
- Bootstrap4. Framework para el diseño de interfaces gráficas de usuario utilizadas en aplicaciones y sitios Web.

El Sistema Gestor de Base de Datos que se utilizó para almacenar los datos capturados desde los distintos formularios de la herramienta es Maria DB, basado en MySQL.

Las herramientas que sirvieron de apoyo para el desarrollo del Sistema Gestor son las siguientes:

- Sublime Text3. Editor de texto libre, que permite la visualización y edición de cualquier tipo de archivo.
- Navicat Premium. Herramienta de licencia privativa que sirve para gestionar bases de datos de MySQL, SQL server y Oracle.

- MySQL Workbench Community Edition. Versión bajo licencia Pública General GNU (siglas en inglés de “GNU’s Not Unix”. Software libre que permite la edición del código fuente) [7] que permite el diseño de bases de datos y provee de una consola para interactuar con el sistema gestor de base de datos.

Además de todo lo anterior, se hizo uso de extensiones, widgets y plugins de jQuery disponibles en la red en sus versiones gratuitas compatibles con el framework Yii2, con la finalidad de enriquecer los formularios y otras funcionalidades del Sistema Gestor.

Estos elementos adicionales brindan facilidad de uso de los formularios así como el tratamiento de los datos.

El servidor Web que se utilizó fue Apache, el cual permite la interacción con el cliente-servidor y las bases de datos correspondientes.

El Sistema Gestor de Contenidos desarrollado se probó en los navegadores más populares en sus versiones recientes, tales fueron: Google Chrome, Firefox y Edge.

IV. Resultados

El desarrollo del Sistema Gestor se delimitó en su primera versión a la creación y edición de información en los siguientes módulos: módulo de notas, módulo de biblioteca virtual, módulo de recursos y módulo de administración de usuarios.

Los usuarios administradores del Sistema Gestor en su primera versión se mostraron complacidos con la facilidad de uso de los formularios, el fácil acceso desde cualquier dispositivo o equipo con acceso a Internet y principalmente el poder llevar de una manera organizada, distribuida y actualizada, toda la información que se requiere publicar en el sitio Web oficial.

El CMS desarrollado a medida fue bajo el framework Yii2, el cual permite desarrollar de forma ágil una aplicación Web con un diseño estándar que se adapta a distintos dispositivos y, además, las aplicaciones desarrolladas cuentan con ciertos elementos de seguridad, fácil escalabilidad, mantenimiento y reutilización de código.

Yii2 implementa el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador (MVC), en el cual los modelos representan datos, la lógica de negocios y sus reglas; las vistas son la representación de salida de los modelos; y finalmente, los controladores que toman los datos de entrada y los convierten en instrucciones para los modelos y vistas (Figura 2).

Los archivos de la aplicación Web pueden ser divididos en dos: aquellos bajo *basic/Web* y aquellos bajo otros directorios. Los primeros pueden accederse directo por HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto en español), mientras que los últimos no pueden ni deben ser accedidos así.

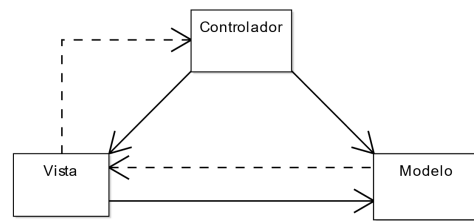


Figura 2: Modelo MVC

La estructura de directorios utilizada por Yii2 es en función de los archivos que contiene cada directorio. El directorio *models* contiene todas las clases del modelo, el directorio *views* contiene todas las vistas (templates), y el directorio *controllers* contiene todas las clases de controladores [6].

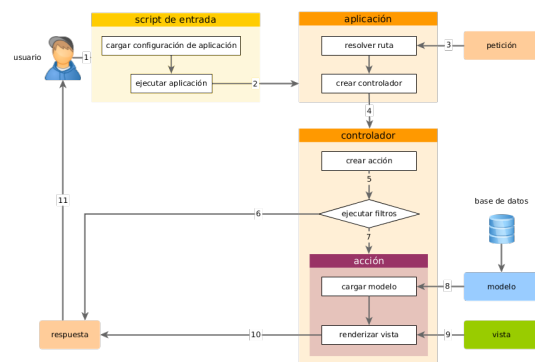


Figura 3: Ciclo de Vida de una Petición (Request) en Yii2

En la Figura 3 se describe como se lleva a cabo una petición en Yii2:

1. Un usuario realiza una petición al *script* de entrada *Web/index.php*.
2. El *script* de entrada carga la configuración de la aplicación y crea una instancia de la aplicación para manejar la consulta.
3. La aplicación resuelve la ruta solicitada con la ayuda del componente *request* de la aplicación.
4. La aplicación crea una instancia de un controlador para manejar la petición.
5. El controlador crea una instancia de una acción y ejecuta los filtros de dicha acción.
6. Si alguno de los filtros falla, la acción es cancelada.
7. Si todos los filtros pasan, la acción es ejecutada.
8. La acción carga los datos del modelo, posiblemente de la base de datos.
9. La acción renderiza una vista, pasándole los datos del modelo cargado.
10. El resultado de la renderización es pasado al componente *response* de la aplicación.

11. El componente *response* envía el resultado de la renderización al navegador del usuario.

A continuación, se presentan algunas de las pantallas del gestor de contenidos creado.

El Sistema gestor de contenidos cuenta con acceso restringido mediante pantalla de inicio de sesión (Figura 4).



Figura 4: Inicio de sesión

Menú de administración

Página inicial del administrador desde la cual puede acceder a los distintos módulos del gestor (Figura 5).

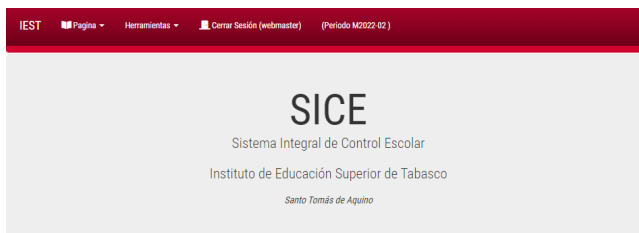


Figura 5: Menú de administración

Módulo de notas

Desde este módulo, los usuarios administradores pueden crear nuevas publicaciones de noticias, editar las ya existentes o en su caso, eliminarlas (figuras 6 y 7).

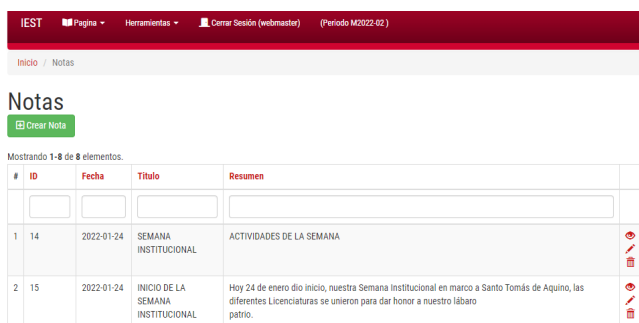


Figura 6: Listado de las publicaciones (boletines, notas, convocatorias)

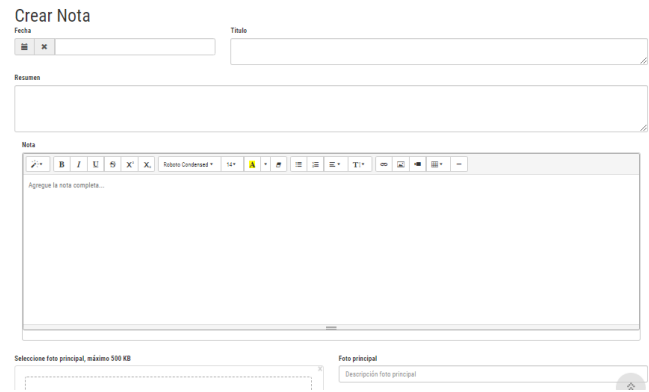


Figura 7: Formulario para crear una publicación

Módulo de biblioteca virtual

Este módulo es para subir publicaciones de interés de los estudiantes, así como editar y borrar las ya existentes en el sistema (figuras 8 y 9).

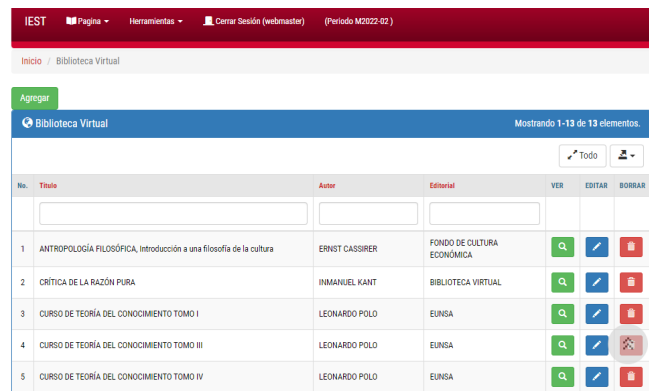


Figura 8: Listado de los títulos disponibles para los estudiantes

Agregar Libro



Figura 9: Formulario para agregar nuevo libro

Módulo de recursos

Los administradores pueden publicar, editar y eliminar diversos recursos pastorales y de espiritualidad para reforzar las actividades de clases (figuras 10 y 11).

No.	Nombre	Tipo	VER	EDITAR	BORRAR
1	Ejercicios espirituales en la vida corriente	Espiritalidad			
2	Formación de la vida espiritual	Espiritalidad			
3	Exhortación Apostólica Gaudete et Exultate	Espiritalidad			
4	Lecturas para Ejercicios Espirituales	Espiritalidad			

Figura 10: Listado de los recursos registrados en el Gestor

Nuevo Recurso

Nombre:

Tipo:

Imagen:

Archivo1:

Archivo2:

Estados:

Figura 11: Formulario para agregar nuevo recurso

Módulo de administración de usuarios

Alta de nuevos convenios suscritos por la institución y edición de los ya almacenados en el sistema (Figura 12).

#	Super admin	Inicio de sesión	E-mail	Correo confirmado	Roles	IP Registrada	Acciones		Estatus
1	No		(no definido)	Yes	Docentes	187.128.194.237			Activo
2	No		(no definido)	Yes	Docentes	187.128.194.237			Activo
3	No		(no definido)	Yes	Alumnos	208.68.172.68			Activo

Figura 12: Listado de usuarios creados en el sistema

Desde este módulo se pueden crear permisos, roles y por supuesto usuarios, además, cuenta con una bitácora de acceso de los usuarios registrados (Figura 13).

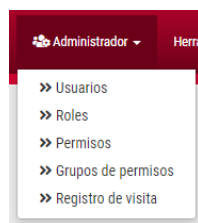


Figura 13: Menú del módulo de administración de usuarios

Sitio Web

A continuación se presentan las principales pantallas del sitio Web, el cual es accesible por todos los usuarios finales (alumnos, padres de familia, docentes, público en general) sin necesidad de permisos especiales (figuras 14-17).



Figura 14: Página principal

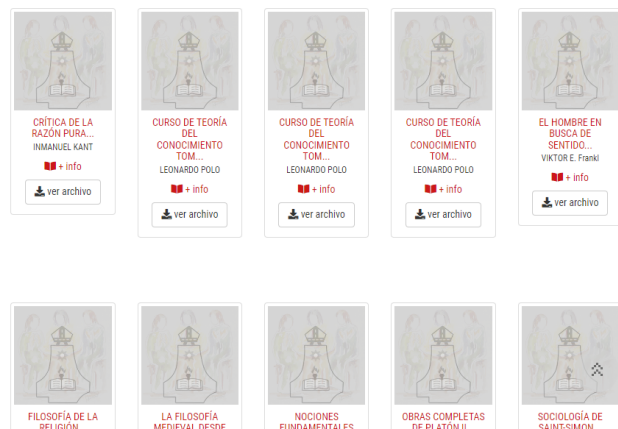


Figura 15: Página de la biblioteca virtual

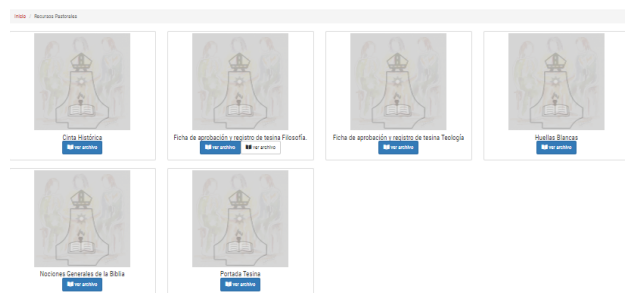


Figura 16: Pantalla principal de la página de recursos pastorales

Como se puede apreciar, el Sistema Gestor de Contenidos desarrollado es totalmente amigable e intuitivo, lo



Figura 17: Pantalla principal de los Recursos de Espiritualidad

que permite su fácil uso por usuarios con conocimientos básicos informáticos; de igual manera, las páginas del sitio Web son totalmente navegables desde su menú principal en el cual se usan términos comunes fáciles de recordar.

V. Conclusiones

El gestor de contenidos para el sitio Web del Instituto de Educación Superior de Tabasco Santo Tomás de Aquino, en esta primera versión, propone una nueva forma de organizar y almacenar la información que se debe publicar en el sitio Web institucional.

La principal característica de esta herramienta es su versatilidad de ser administrada por distintas personas de las diferentes áreas de la institución; así mismo, es una herramienta flexible que puede ser implementada por cualquier otra institución educativa de cualquier zona geográfica del país.

Esta primera versión del Sistema Gestor de Contenidos, permite al personal del Instituto el gestionar la información que se va a publicar en el sitio Web. Su principal ventaja es que el Sistema no requiere de una persona especialista en temas informáticos para ser administrado. Los usuarios administradores del sistema solo necesitan un usuario y contraseña para ingresar al panel de control desde un navegador web.

En la primera interacción de los usuarios finales con la herramienta solo bastaron unos pocos minutos y algunos clics para subir información al sitio Web.

VI. Recomendaciones

Se recomienda revisar continuamente las nuevas versiones de las tecnologías utilizadas, con la intención de mantener el sistema vigente y con las nuevas actualizaciones.

Así mismo, se recomienda darle a esta aplicación Web el mantenimiento adecuado y al mismo tiempo, tomar en cuenta los comentarios emitidos por usuarios, con la finalidad de identificar zonas de mejoras y poder ir incorporando nuevos elementos a la misma.

De igual manera, se recomienda continuar con el desarrollo de nuevos módulos que permita incorporar nuevas funcionalidades al sistema gestor, con el objetivo de continuar la autoadministración del sitio Web.

Agradecimientos

Gracias al Instituto de Educación Superior de Tabasco Santo Tomás de Aquino por la confianza para la creación del Sistema Gestor de Contenidos.

Referencias

- [1] Luis Enrique Baltazar Paz. «Sistemas Gestores de Contenidos, SGC». En: *Año 5, Núm. 53* (2006).
- [2] Ángeles Alcaraz Guirado et al. «Gestión de contenidos en las web para las organizaciones: los sistemas de gestión de contenidos». En: (2013).
- [3] Carlos Alberto Fernández. «El Proceso Unificado Rational para el Desarrollo de Software.» En: 13 (2000).
- [4] Oiver Andrés Pérez. «Cuatro enfoques metodológicos para el desarrollo de Software RUP-MSF-XP-SCRUM». En: *Inventum 6.10* (2011), págs. 64-78.
- [5] Albert Collado. «Herramientas ETL, una solución para la integración de datos». En: *Estrategia financiera 237* (2007), págs. 62-64.
- [6] Qiang Xue et al. «The Definitive Guide to Yii 2.0». En: *Yii Software LLC. Appendices* (2014).
- [7] Malcolm Bain. «Comentarios breves sobre la GNU General Public License v3». En: *IDP. Revista de Internet, Derecho y Política 8* (2009), págs. 14-24.

Cleanliness analysis of molten aluminum for high pressure die casting process

Análisis de limpieza de aluminio fundido para proceso de inyección a alta presión

Efraín Lara-Vizcarra^{1,2} and José Luis Camacho-Martínez^{*3}

¹ Posgrado CIATEQ, A.C.,

Circuito Aguascalientes Norte 135, Parque Industrial del Valle de Aguascalientes, San Francisco de los Romo, Ags., México, C.P. 20358.

² Nissan Motor Co., Ltd.

³ Independiente

efra_200@hotmail.com, jolucenator@gmail.com

Abstract

In the present work it was made the evaluation at full scale of the cleaning process for aluminum alloy ADC-12Z, for the manufacture of automotive parts by High Pressure Die Casting. This process basically consists of fluxes application in two stages of the melting process, melting furnace and transfer ladle during degassing. The effectiveness of the cleaning and two designs of rotors for degassing, as well as the process in its different stages, were evaluated. They were analyzed using semiquantitative techniques such as the K-Mold and the reduced pressure test (RPT). The main results were as follows: the most effective process for the elimination of inclusions and dissolved hydrogen is degassing with the fluxes application. It is here where the most significant reductions in the contents of both contaminants were obtained. The two rotor designs for degassing were effective in reducing the content of dissolved hydrogen in the alloy, and the most important conclusion, is that the current cleaning processes in the plant are effective and sufficient to obtain metal with the required quality by the internal standards, in terms of the maximum permissible contents of inclusions and dissolved hydrogen.

Keywords— Aluminum Cleanliness, K-Mold, RPT

Resumen

En el presente trabajo se realizó la evaluación a escala completa del proceso de limpieza para aleación de aluminio ADC-12Z, para la manufactura de piezas automotrices por inyección a alta presión. Dicho proceso consiste básicamente en aplicación de fundentes en dos etapas del proceso de fusión: horno de fusión y olla de traslado durante la desgasificación. Se realizó la evaluación de la efectividad de la limpieza y dos diseños de rotores para desgasificación, así como del proceso en sus diferentes etapas. Se analizaron utilizando técnicas semicuantitativas como lo son: el Molde K y la prueba de presión reducida (PPR). Los resultados principales fueron los siguientes: el proceso más efectivo para la eliminación de inclusiones e hidrógeno disuelto es la desgasificación con aplicación de fundentes, es aquí donde se tuvieron las reducciones más significativas de los contenidos de ambos contaminantes. Los dos diseños de rotores para desgasificación resultaron efectivos para reducir el contenido de hidrógeno disuelto en la aleación, y la conclusión más importante es que los procesos actuales de limpieza en la planta son efectivos y suficientes para obtener el metal con la calidad requerida en los estándares internos, en cuanto a los contenidos máximos permisibles de inclusiones y de hidrógeno disuelto.

Palabras clave— Limpieza del aluminio, Molde K, PPR

* Autor de correspondencia

I. Introducción

Uno de los procesos importantes en la manufactura de partes que se utilizan de manera creciente en la industria automotriz, es la inyección a alta presión o High Pressure Die Casting (HPDC), siendo utilizadas aleaciones de aluminio. En los últimos años se ha tenido una creciente demanda de piezas para componentes estructurales y de motores de combustión interna, obtenidas por este proceso con estándares de calidad cada vez más elevados, lo que implica producir piezas cada vez con mejores propiedades mecánicas, libres de defectos y excelente maquinabilidad.

Para lograr los estándares de calidad es imprescindible que las fundiciones de aluminio brinden piezas con el menor número de defectos posibles, es por ello que se han incrementado los controles de calidad para que las aleaciones fundidas conformen partes con reducidos elementos como óxidos e inclusiones, los cuales afectan la maquinabilidad y la funcionabilidad.

Los tratamientos de limpieza han formado parte de estos procesos de Die Casting, donde se hace el uso de fundentes sólidos y tratamientos de desgasificado, los cuales ayudan a obtener aleaciones listas para ser moldeadas. Con el uso de herramientas semicuantitativas como lo son el Molde K y la prueba de presión reducida (PPR) o reduced pressure test (RPT), se ha podido evaluar si los procesos de limpieza son adecuados, si existe alguna contaminación del aluminio fundido y asegurar que las piezas que se van a producir serán de buena calidad [1, 2].

Los defectos de inclusiones ya sean metálicas o no metálicas, afectan directamente a la calidad del producto, ya que reducen la maquinabilidad de la parte y algunas veces dañando el herramental [3]. El origen de las inclusiones es diverso, pero el más común, es la oxidación del propio aluminio y sus aleantes. Las inclusiones se pueden deber a la presencia de fundentes atrapados en el seno del metal líquido, al desprendimiento de escorias de las paredes de los hornos o herramientas; y en ocasiones a la introducción de materiales ajenos provenientes del exterior [4, 5]. Para reducir la aparición de este defecto, en las industrias que producen partes de aluminio generalmente se desarrollan procesos de limpieza, donde se hace el uso de procesos de desgasificado de aluminio con la aplicación de fundentes sólidos, estas operaciones tienen como objetivo disminuir el contenido de impurezas que ocasionan los defectos de porosidad e inclusiones [6, 7].

Las dos herramientas semicuantitativas proporcionan los resultados en un periodo de tiempo muy corto, y con la experiencia del día a día, pueden llegar a ser muy efectivas para el control de calidad del aluminio fundido [8]. Para alcanzar un nivel de control efectivo y consistente

es necesario definir con precisión las condiciones y fundentes a utilizar durante dichas operaciones de limpieza [5, 9, 10]. Las operaciones como el desgasificado con uso de fundentes sólidos pueden dar un buen resultado en la reducción de las inclusiones.

II. Metodología

Se realizó una serie de experimentos a escala completa para evaluar el proceso de limpieza de la aleación de aluminio ADC-12Z para la manufactura de piezas automotrices por inyección a alta presión, y determinar si el proceso es adecuado para obtener la calidad del metal líquido requerido por la planta, previo a ser inyectado.

El tratamiento del aluminio fundido consiste en realizar un proceso de desgasificado al metal con la inyección de gas inerte a través de una flecha y rotor dentro del baño metálico y el uso de fundentes sólidos. La evaluación de la limpieza se desarrolló de manera indirecta, realizando pruebas de contenido de inclusiones e hidrógeno disuelto con las técnicas del Molde K y presión reducida (PPR) respectivamente.

La aleación utilizada para la experimentación fue la ADC-12Z, que es una aleación para inyección a presión de acuerdo a la Japanese Industrial Standards (JIS). La experimentación se llevó a cabo en una planta de fundición que principalmente realiza la manufactura de bloques de cilindros para motores de combustión interna para vehículos ligeros, en la Tabla 1 se muestra la composición química de la aleación.

Tabla 1: Composición química de la aleación utilizada en la experimentación

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Sn	Al
Mínimo	9.6	-	1.5	-	0.18	-	-	-	Balance
Máximo	12.0	1.3	3.5	0.5	0.34	3.0	0.50	0.3	

II.1. Desgasificado de metal

En los estándares existentes en planta, se tiene establecido que todo el metal fundido previo a inyectarse debe ser desgasificado directamente en las ollas de transferencia con capacidad de 600 kg, en donde se hace uso de una unidad desgasificadora marca Pyrotek que tiene una flecha y un rotor de grafito. La desgasificación consiste en sumergir la flecha con el rotor en el metal fundido y hacerlos girar a 350 rpm, al tiempo que se realiza la inyección de nitrógeno de uso industrial grado 4.8 (pureza del 99.998 %) como gas inerte, con un flujo de 25 l/min durante 5 minutos. En la Figura 1 se muestra una unidad desgasificadora.

Antes de iniciar el ciclo, se le agregan manualmente sobre la superficie del metal fundido 100 g de fundente

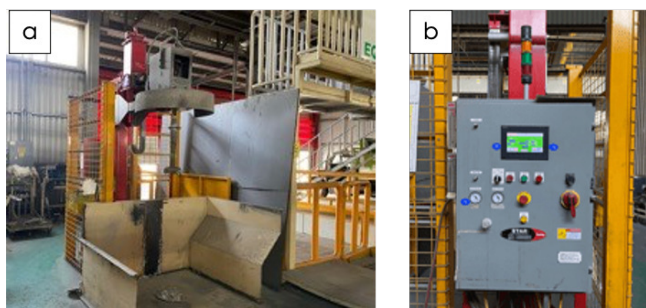


Figura 1: Unidad desgasificadora para aluminio fundido; a) unidad Pyrotek y b) tablero de programación

sólido catalogado como fundente de limpieza (fundente A). Al terminar el ciclo de desgasificado, el operador extrae la escoria de la superficie del aluminio generada por el proceso de desgasificado, para lo que utilizan herramientas manuales. En la Figura 2 se aprecia el proceso de desgasificado con impulsor rotatorio y la aplicación de fundentes sólidos.

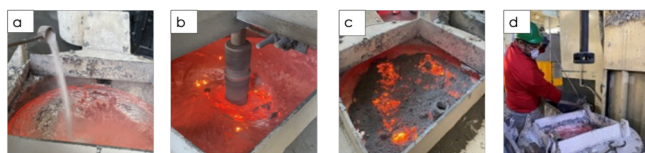


Figura 2: Operación de desgasificado con aplicación de fundente: a) aplicación de fundente, b) inyección de gas con el desgasificador, c) reposo después de desgasificado y d) retiro de la escoria

II.2. Evaluación semicuantitativa del contenido de inclusiones con la prueba Molde K

Los contenidos de inclusiones en el metal fundido fueron determinados mediante la prueba Molde K, que consiste en vaciar una muestra de aluminio en un molde conocido como K; de aquí se obtiene una tableta de aluminio con muescas las cuales actúan como punto de fractura al ser golpeadas con una herramienta de mano, se generan 7 probetas de cada tableta. Las zonas de la fractura se analizan visualmente o con el apoyo de un dispositivo para amplificar la imagen, y así poder identificar y cuantificar mejor las inclusiones en la probeta [11]. En el presente trabajo se utilizó una amplificación de 10X, con esto se logró mejorar la detección de inclusiones. El resultado de la evaluación se identificó como $K10$, para indicar que se realizó a 10 aumentos.

Basándose en el número de inclusiones observadas, el valor de $K10$ puede ser utilizado como una medición semicuantitativa de la cantidad de inclusiones presentes en el metal. El valor de $K10$ se puede obtener por la Ecuación (1) [12].

$$K10 = \frac{S}{n} \quad (1)$$

Donde:

S es el número total de inclusiones encontradas en todas las caras de la muestra.

n es el número de caras analizadas.

Para obtener un resultado más representativo, la cuantificación se realizó por triplicado y el valor obtenido del promedio de las mediciones se identificó como $K3$, que es el promedio de 3 muestras $K10$. Para determinar el efecto de las variables en cada prueba se realizó una comparación de los valores de $K3$, obtenidos antes y después de los tratamientos. Donde $K3_a$ es el valor de $K3$ antes del tratamiento del metal fundido y $K3_d$ es el valor que se obtiene después del tratamiento del metal. En la Figura 3 se muestra la secuencia de la obtención de muestras de Molde K.



Figura 3: Obtención de muestras para análisis de Molde K: a) Molde K y tabletas de aluminio, b) vaciado de metal en Molde K y c) probetas identificadas obtenidas por la fractura de la tableta

De acuerdo con los criterios establecidos por la organización, el valor del índice final $K3$ debe ser menor a 2.5, para considerar que el tratamiento de limpieza ha sido adecuado y se puede mantener una calidad consistente en las piezas inyectadas.

II.3. Pruebas de presión reducida (PPR)

Otra herramienta comparativa para la evaluar la calidad del metal es la prueba de presión reducida. La PPR se puede utilizar para estimar con una buena aproximación el nivel de hidrógeno disuelto en el fundido previo a ser vaciado, esta medición se realiza vaciando una probeta bajo condiciones de vacío en un recipiente cónico de acero [8, 13]. Esta prueba se utiliza extensamente en las fundiciones, normalmente se mide la densidad de las muestras obtenidas con el equipo de presión reducida y se correlaciona con la concentración de hidrógeno en el metal fundido [13, 14, 15, 16].

Como estándar de planta, se tiene como valor mínimo de 2.51 g/cc, que equivale aproximadamente a un contenido de gas disuelto de 0.22 cc/100 g de Al, para la aleación ADC-12Z. Valores superiores a 2.51 g/cc de densidad se consideran adecuados para liberar la carga y proceder a la inyección.

En el presente trabajo las muestras para la RPT fueron vaciadas en un crisol de acero precalentado, el cual se precalentó vaciando 3 veces metal y manteniéndolo durante 5 segundos. Las muestras se obtuvieron antes y después del tratamiento con fundente e igualmente en la desgasificación del baño metálico. La presión de la cámara de vacío del equipo fue de 0.0072 MPa (54 mmHg) y las muestras permanecieron bajo esta condición por 5 minutos. La densidad de las muestras se obtuvo con una balanza instrumentada que opera utilizando el principio de Arquímedes y los cálculos se realizaron utilizando la Ecuación (2) [8].

$$SG_{RPT} = \frac{m_{aire}}{(m_{aire} - m_{agua})} \quad (2)$$

Donde:

SG_{RPT} = densidad de la muestra RPT (g/cc).

m_{aire} = masa de la muestra en aire (g).

m_{agua} = masa de la muestra en agua (g).

En la Figura 4 se muestran las imágenes del equipo para la prueba de presión reducida, RPT, y el proceso de obtención de las muestras de aluminio.



Figura 4: Pruebas RPT: a) Equipo para la RPT, b) crisol metálico en cámara de vacío, c) muestras RPT obtenidas (lado izquierdo, muestras previas a tratamiento y lado derecho son muestras después de tratamiento) y d) balanza instrumentada para obtención de densidad de las muestras

III. Experimentación

III.1. Exploración

Todas las actividades realizadas en el presente trabajo fueron realizadas rigurosamente de acuerdo con la norma ISO 45001 y los equipos de protección personal para manejo de materiales a altas temperaturas.

Las primeras corridas de exploración se realizaron tomando únicamente de probetas del Molde K, esto por su tiempo de respuesta tan corto, su fácil realización en piso y que se puede obtener una primera aproximación de que tan sucio está el metal en cada etapa del proceso de limpieza.

Se realizó por duplicado en 4 puntos del proceso:

1. Horno de fusión.
2. Olla de transferencia (previo al desgasificado).
3. Olla de transferencia (posterior al desgasificado).
4. Horno de sostenimiento de máquina de moldeo.

III.2. Evaluación del efecto de la cantidad de fundente aplicado durante el desgasificado

De acuerdo a la literatura, existen autores que mencionan que la aplicación de fundentes depende de la limpieza del material de partida del fundido [2], se recomienda utilizar del 0.05 % al 0.2 % del peso del metal a tratar [4]. Tomando en cuenta los resultados de la revisión del estado del arte, lo establecido en la hoja de procesos y los antecedentes de la planta, se definió utilizar: 100 g, 200 g, 300 g y 400 g de fundente.

Durante las corridas experimentales se tomaron 3 muestras de Molde K y una prueba de presión reducida antes y después del desgasificado.

III.3. Evaluación del efecto de diseño del rotor para el equipo de desgasificado

En el proceso de desgasificado con rotor inyector, normalmente fabricados con grafito, la función de estos elementos es agitar el baño de metal fundido e inyectar un gas inerte. El diseño del rotor es importante porque de este depende el tamaño y distribución de las burbujas en el baño metálico, entre más pequeñas y mejor distribuidas estén las burbujas en el baño, es más eficiente el desgasificado [5]. Los diseños de los rotores son muy variados y generalmente los proveedores de estos, basados en sus propios estudios, presumen tener el mejor diseño de rotor para desgasificado, que logra eliminar la mayor cantidad de hidrógeno disuelto, logrando una mayor calidad en las piezas al estar libres de porosidades e inclusiones.

Se realizó una prueba comparativa de dos diseños diferentes de rotor, uno con figura cuadrada y otro redondo conocido como rotor "impulsor", además, se probaron dos fundentes diferentes (fundente A y fundente B), aplicando una cantidad de 300 g en cada corrida. En la Figura 5 se muestran los dos rotores ensamblados a las flechas.



Figura 5: Flechas y rotores para desgasificación ensamblados

Para esta prueba se hizo uso de la técnica del Molde K y la prueba de presión reducida (PPR), antes y después del proceso de desgasificado, para comprobar la efectividad en la limpieza y desgasificación de cada uno de los rotores evaluados.

IV. Resultados

IV.1. Exploración

Los valores de K_3 obtenidos en la primera corrida exploratoria se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores de K_3 obtenidos en diferentes puntos del proceso en la primera corrida exploratoria

	Horno fusor	Sangrado a olla	Desgasificado	Horno de máquina
1	2.64	0.28	1.71	0.35
2	8.14	0.71	1.07	0.28
3	7.14	0.21	0.21	0.42

Como se puede observar, en el horno fusor se obtuvieron valores de K muy elevados, lo que indica que el baño metálico contiene muchas inclusiones. En la Figura 6 se muestra una fotografía de la probeta de Molde K , que presentó mayor cantidad de macro inclusiones de escoria y óxidos de aluminio en el muestreo hecho en el horno fusor.



Figura 6: Probeta de Molde K con inclusiones

En la Tabla 3 se muestran los valores de K_3 obtenidos en la segunda corrida exploratoria.

Tabla 3: Resultados de segunda corrida exploratoria

	Horno fusor	Sangrado a olla	Desgasificado	Horno de máquina
1	0.57	0.28	0.42	0.5
2	0.42	0.28	0.21	0.42
3	0.21	0.21	0.42	0.5

Comparando los resultados obtenidos en las corridas exploratorias, se puede apreciar que existen diferencias muy grandes entre los valores K_3 obtenidos de las probetas de metal extraído del horno fusor, los cuales en la segunda corrida fueron mucho menores. Esto se atribuye a que la toma de las muestras K_3 del baño metálico en la primera corrida fueron realizadas sin antes hacer el

retiro de la escoria de la superficie, actividad programada cada 12 horas de trabajo.

También se puede apreciar una disminución de los valores de K en el metal fundido al ser sangrado (vertido) a la olla de transferencia. Los valores obtenidos después del proceso de desgasificado se esperarían que fueran menores, sin embargo, en ambas corridas se observó un ligero aumento. Finalmente, al vaciar el metal transportado al horno de sostenimiento, que cuenta ya con aluminio de previas cargas debido a que este se va relleno según el requerimiento del metal; los valores en la primera corrida presentan un decremento y en la segunda se mantienen sin mucha variación.

IV.2. Evaluación del efecto de la cantidad de fundente aplicado durante el desgasificado

En la Figura 7 se muestran los resultados de las pruebas variando la cantidad de fundentes sólidos durante el proceso de desgasificado.

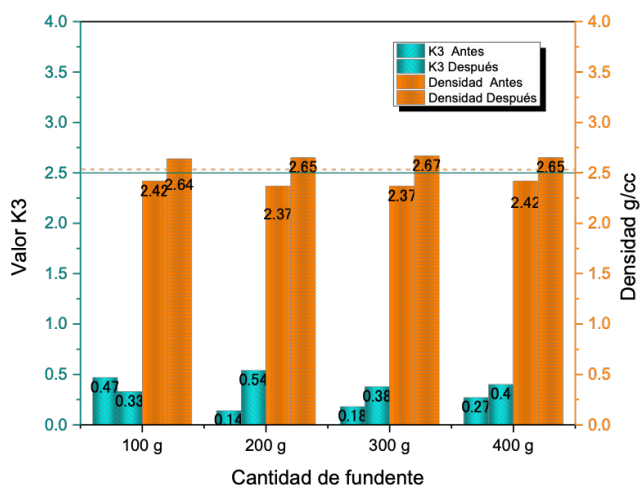


Figura 7: Gráfico comparativo de prueba variando cantidad de fundente

Los valores obtenidos después del proceso de desgasificación con aplicación de fundentes, en todos los casos quedan dentro de lo establecido como estándar de la planta, valores menores de 2.5 para K_3 y valores superiores a 2.51 g/cc para la densidad de las muestras de PPR.

Sin embargo, como se puede observar en la gráfica, de las 4 corridas que se llevaron a cabo en 3 se notó un incremento de inclusiones, de acuerdo con los resultados de las pruebas del Molde K , lo cual coincide con lo observado en las pruebas exploratorias. Estas observaciones llevaron a la conclusión de que se estaba contaminado el metal líquido durante la desgasificación.

Al realizar la revisión de los elementos que interactúan en ese proceso, se observó que la olla de transferencia

tenía suciedad adherida en las paredes de refractario, y se dedujo que, durante la operación, algunas de las partículas de óxidos y escorias se desprendieron e incorporaron al baño metálico. En la Figura 8 se aprecian fotografías de la olla de transferencia y la suciedad en el refractario.

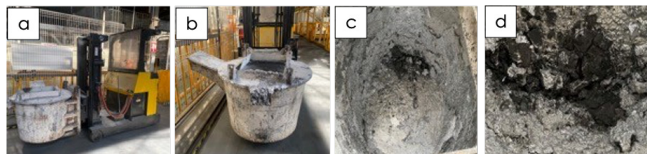


Figura 8: Equipo para traslado de metal fundido, a) montacargas con olla de transferencia, b) olla de transferencia de metal fundido, c) interior de olla y d) suciedad desprendida de paredes refractario

El mejor valor de densidad obtenido, 2.67 g/cc, se logró con la aplicación de 300 g de fundente. Con estos resultados se puede concluir que la cantidad actual establecida de 100 gramos de fundente para el proceso de desgasificado para 600 kg de metal son insuficientes. Considerando los resultados de la revisión de la literatura especializada y los resultados de esta prueba, se concluye que la aplicación de 300 g de fundente en la olla de 600 kg de metal es la opción más adecuada para obtener un metal de buena calidad.

Como resultado de las observaciones, se realizó una limpieza de la olla previo a realizar las siguientes pruebas.

Prueba con limpieza de olla de transferencia

Se realizaron 2 corridas después de aplicar la limpieza de la olla, para validar los resultados de las pruebas anteriores, donde aplicaron 100 y 400 gramos de fundente sólido y utilizando solo la técnica de Molde K para medición de inclusiones. En la Figura 9 se muestra la gráfica de los datos agrupados de la prueba.

Como puede observarse en la Figura 9, en ambos casos se redujo la cantidad de inclusiones presentes en el metal después del tratamiento de desgasificación, que es un resultado congruente, dado a que el tratamiento se realiza con ese objetivo y refuerza la conclusión de que, en las corridas anteriores, el metal se contaminó con la suciedad de la olla de transferencia.

IV.3. Evaluación de efecto del diseño del rotor de desgasificado

En la Figura 10 se muestran los valores de *K*3 y las densidades obtenidas en las pruebas comparativas del efecto del diseño de dos rotores para desgasificado, utilizando dos fundentes diferentes A y B.

Como puede observarse, no hay una diferencia significativa en los resultados obtenidos con los dos rotores y con los dos fundentes; ambos rotores y ambos fundentes

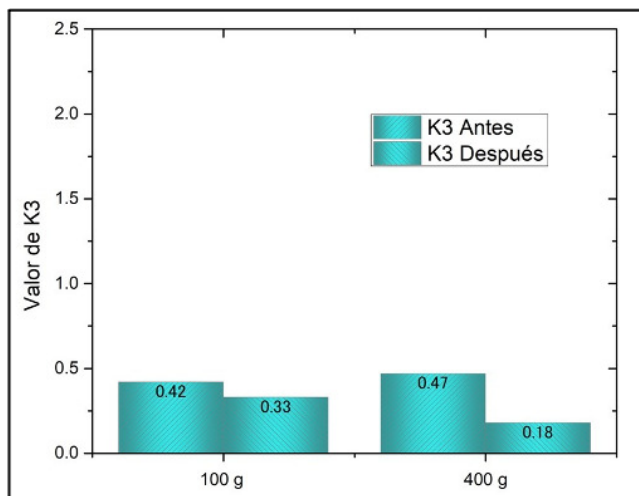


Figura 9: Gráfica de resultados de desgasificado con limpieza de olla

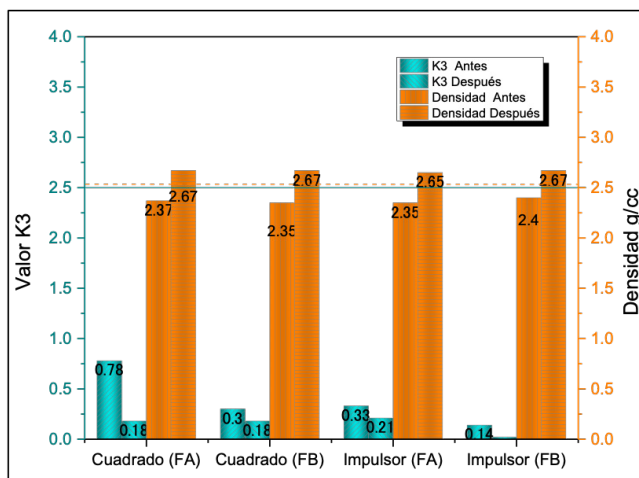


Figura 10: Gráfica comparativa de resultados de rotor cuadrado y rotor impulsor

se desempeñan adecuadamente para obtener un metal limpio, de acuerdo con los estándares de la planta, ya que los valores de *K*3 están muy por debajo del establecido (2.5), y los valores de la densidad están muy por encima del establecido (2.51 g/cc). Al no haber diferencia en el desempeño, se revisará el aspecto económico la razón del costo-durabilidad para notar un beneficio y tomar una decisión que otorgue valor a la organización.

En el caso de los fundentes, el fundente A con el rotor cuadrado tuvo un buen decremento en el valor K, con una reducción de más del 300% del valor inicial antes del desgasificado, de igual manera, en todas las corridas siguientes se aprecia una reducción en este valor, sin embargo, no se obtiene un resultado que dé un valor consistente de reducción, ya que desde el inicio de las corridas el metal fundido tenía valores muy pequeños,

lo que significa que el aluminio contaba con una buena condición de limpieza desde el inicio.

V. Conclusiones

El proceso de limpieza que se utiliza actualmente en la planta es suficiente para cumplir de manera consistente con los estándares de valores de K_3 y densidad establecidos.

Para mantener una calidad consistente y adecuada del metal fundido, previo a la operación de inyección a presión, es necesario realizar pruebas confiables en piso, que indiquen de manera suficientemente precisa el nivel de limpieza del metal.

La técnica del Molde K y la prueba de presión reducida, son pruebas de piso confiables para determinar y evaluar la limpieza del metal fundido; la primera para las inclusiones y la segunda para el hidrógeno disuelto.

La ubicación del orificio de sangrado del horno de fusión, en la parte inferior de este, de acuerdo con los valores de K_3 es correcta, dado que el metal está más limpio en esa zona que en la superficie.

La limpieza periódica de paredes de refractarios de hornos y ollas de traslado son imprescindibles para una calidad de metal con bajo nivel de inclusiones, dado que pueden convertirse en fuentes de contaminación para el metal fundido.

Para determinar la cantidad adecuada de fundente a utilizar en el proceso de desgasificado de aleaciones de aluminio, es necesario realizar más estudios comparando los resultados de varias corridas, ya que la limpieza final depende de muchas variables (procedencia del metal de partida, la composición de la aleación, cantidad de metal a desgasificar, variables de unidad desgasificadora, etc.)

No hay diferencias significativas en calidad del metal por efecto del diseño de los rotores probados, en ambos casos los resultados, en cuanto a la densidad de la muestra en la prueba de presión reducida, fueron muy similares y por encima del estándar de la planta.

Los resultados obtenidos al utilizar los fundentes A y B en la operación de desgasificado fueron similares y muy buenos, no identificándose diferencias significativas en su desempeño.

Con una mayor cantidad de pruebas y análisis de resultados, utilizando otras técnicas de caracterización directa, es posible optimizar los procesos de limpieza y elevar los estándares de calidad del metal líquido en la planta.

Aportaciones

Con los resultados de este trabajo de investigación se demostró la importancia de realizar experimentaciones en el piso de planta basadas en el método científico. Con las cuales se pueden obtener conclusiones internas sobre

los productos que ofrecen los proveedores de insumos. También se destacó la importancia que tiene la limpieza de los contenedores del metal fundido, son imprescindibles para no tener contaminaciones con partículas ajenas a las aleaciones fundidas.

Agradecimientos

Al CONACYT por su apoyo financiero y a la compañía Nissan Motor Co. Ltd. (Nissan Mexicana S.A. de C.V.) por facilitar el uso de sus instalaciones y equipos.

Referencias

- [1] Rafael Gallo. «Differentiating Inclusions in Molten Aluminium Baths and in Castings». En: *Pyrotek Inc. OH, USA* 493 (2017).
- [2] W Hufnagel. *Manual del aluminio*. Reverté, 1992.
- [3] Hua Gao et al. «A cluster of inclusions on Al–Si–Cu die casting cylinder block». En: *Engineering Failure Analysis* 55 (2015), págs. 370-375.
- [4] S Shivkumar, L Wang y D Apelian. «Molten metal processing of advanced cast aluminum alloys». En: *JOM* 43 (1991), págs. 26-32.
- [5] John E Gruzleski y Bernard M Closset. *The treatment of liquid aluminum-silicon alloys*. Amer Foundry Society, 1990.
- [6] R Gallo. «I Have Inclusions! Get Me the Cheapest and Best Flux for Cleaning My Melt!—Is This the Best Driven, Cost-Saving Approach by a Foundry». En: *Proceedings of the 121st Metalcasting Congress of the American Foundry Society*. 2017, págs. 17-105.
- [7] David V Neff. «Improving die casting melt quality and casting results with melt quality analysis and filtration». En: *WWW. Saatavisa (Viitattu 5.3. 2017): https://www.dykast.com/user/products/5689-pdfs-1-file.pdf* (2014).
- [8] Lori Parmenter, D Apelian y F Jensen. «Development of a Statistically Optimized Test Method for the Reduced Pressure Test (98-18)». En: *Transactions of the American Foundrymen's Society* 106 (1998), págs. 439-452.
- [9] O Gursoy et al. «Archives of Foundry Engineering». En: *Archives of Foundry* 2013 (2014), pág. 2012.
- [10] Gábor Gyarmati et al. «The effects of rotary degassing treatments on the melt quality of an Al–Si casting alloy». En: *International Journal of Metalcasting* 15.1 (2021), págs. 141-151.
- [11] S Kitaoka. «Evaluation of the melt cleanliness by K-Mold test». En: *Light Metals* (2001), págs. 26-29.

- [12] J Wannasin, D Schwam y JF Wallace. «Evaluation of methods for metal cleanliness assessment in die casting». En: *Journal of materials processing technology* 191.1-3 (2007), págs. 242-246.
- [13] H Mulazimoglu, N Handiak y JE Gruzleski. «Some observations on the reduced pressure test and the hydrogen concentration of modified A356 alloy». En: *Transactions of the American Foundrymen's Society* (1990), pág. 225.
- [14] Muhammet Uludağ et al. «On the interpretation of melt quality assessment of A356 aluminum alloy by the reduced pressure test: the bifilm index and its physical meaning». En: *International Journal of Metalcasting* 12 (2018), págs. 853-860.
- [15] D Dispinar y J Campbell. «Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality». En: *international Journal of Cast Metals research* 19.1 (2006), págs. 5-17.
- [16] Murat Tiryakioğlu. «The effect of hydrogen on pore formation in aluminum alloy castings: myth versus reality». En: *Metals* 10.3 (2020), pág. 368.

COVID-19 and the damage in higher education

El COVID-19 y los estragos en la educación superior

Víctor M. Antonio Arévalo^{*1}, Betsaida Y. Preciado Castillo¹, Evelyn V. Corona Isabelles¹, Fernanda Jacobo Mayor¹, Alicia Olvera Montejano¹, and Héctor Eduardo Cárdenas Velasco¹

¹Instituto Tecnológico de Colima, Ingeniería en Gestión Empresarial,

Av. Tecnológico 1 A.P. 10 y 128, Col. Liberación, Villa de Álvarez, Col., México, 28976.

{9460587, 19460502, 19460616, 19460794, alicia.olvera, eduardo.cardenas}@colima.tecnm.mx

Abstract

The pandemic caused by COVID-19 has generated various problems and changes in the daily life in which we were all accustomed to lead. In this way, in educational environments, the pandemic changed the way to impart education, that is, it went from face-to-face to virtual sessions. However, given this implemented strategy, in order to contribute to social distancing, the possible harmful consequences that this would cause were not taken into account. Therefore, in this research we focus on determining the possible causes, such as anxiety, depression or stress, caused by the pandemic, which have caused poor academic performance in students. In this way, the methodology implemented was basic cross-sectional explanatory because we wanted to determine if certain problems, such as anxiety, depression or stress, caused a low academic performance in the students registered.

Keywords— Education, COVID-19, Students

Resumen

La pandemia causada por COVID-19 ha generado diversos problemas y cambios en la vida cotidiana a la cual estábamos acostumbrados a llevar todas las personas. De esta manera, en ámbitos educativos, la pandemia cambió la manera de recibir la educación, es decir, pasó de manera presencial a sesiones virtuales. Sin embargo, ante dicha estrategia implementada, con la finalidad de contribuir en el distanciamiento social, no se tomó en cuenta las posibles consecuencias perjudiciales que esto originaría. Por

ello, en esta investigación nos enfocamos en determinar las posibles causas, como: ansiedad, depresión o estrés, originadas por la pandemia, que hayan provocado un bajo rendimiento académico en los estudiantes. De esta manera, la metodología implementada fue básica explicativa transversal pues pretendíamos determinar si ciertas problemáticas, como: ansiedad, depresión o estrés, originaron un bajo rendimiento académico en los alumnos censados.

Palabras clave— Educación, COVID-19, Estudiantes

I. Introducción

El 31 de diciembre de 2019 se informó a la Oficina de la Organización Mundial de Salud en China, de varios casos de neumonía de etiología de causa desconocida, detectados en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei, China [1].

Sin embargo, antedicho suceso aún se desconocían las causas, y mucho menos se tenía la sospecha de las múltiples consecuencias que dicha enfermedad originaría a nivel mundial.

Es así como la pandemia por coronavirus provocó diversos estragos a nivel mundial. Uno de los ámbitos afectados por dicha pandemia fue el sector educativo que, durante el primer año de la pandemia de Covid-19, 210 países cerraron sus escuelas parcial o totalmente, afectando múltiples aspectos de la vida social y familiar de millones de niños y jóvenes [2].

Por su parte, en México, un total de 33.2 millones de estudiantes fueron afectados debido al cierre en todos los niveles educativos del país, con el fin de implementar el distanciamiento social, provocando el desencadenamiento de diversas problemáticas en los estudiantes.

La pandemia causada por COVID-19 generó diversos cambios en la vida diaria que acostumbramos a llevar

* Autor de correspondencia

todas las personas, en esta investigación nos enfocamos en los estudiantes, los cuales debieron de seguir sus actividades académicas de manera virtual generando posiblemente estragos en contra de su persona, específicamente de salud mental.

Por ello, la investigación se enfoca en analizar el rendimiento académico que obtuvieron durante la modalidad virtual los estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial de sexto semestre del Instituto Tecnológico de Colima, con el propósito de determinar si factores como: ansiedad, depresión o estrés influyeron y afectaron dicho desempeño académico, esto debido a la educación en línea.

De esta manera, es importante tener en cuenta que esta investigación tomó relevancia por dos motivos, por una parte, la estabilidad de la salud mental es un aspecto de suma relevancia en la vida de todo ser humano, pues a partir de ello una persona puede sentir, pensar y actuar correctamente, y por otro lado, de acuerdo con el Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO), atender la crisis educativa debe ser una prioridad de los próximos meses para que las generaciones de talento futuro logren mejores oportunidades de empleo al concluir su educación y contribuyan a la competitividad de México a pesar de la pandemia [3], es decir, debe tomarse en cuenta si los estudiantes pudieron obtener los conocimientos necesarios para ser competitivos.

II. Método de investigación

Debido a que nuestra investigación tuvo el objetivo de determinar los factores adversos, causados por la pandemia, que influyeron en el rendimiento escolar de los estudiantes del 6° semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico de Colima, nuestra investigación se llevó a cabo en México, en el estado de Colima.

Por su parte, y conforme a que el presente estudio buscaba demostrar que ciertos factores perjudiciales, originados por el confinamiento, contribuyeron en el bajo desempeño escolar en nuestra población seleccionada, nuestro estudio, de acuerdo con el tratamiento de nuestros datos, fue mixto, pues abordamos resultados tanto cualitativos como cuantitativos.

De igual manera, el diseño de nuestra investigación de acuerdo con nuestro finalidad y objeto de estudio, fue básica explicativa pues pretendíamos determinar si ciertas problemáticas como: ansiedad, depresión o estrés, originaron un bajo rendimiento académico en los alumnos encuestados.

De esta manera, y debido a que nuestra investigación tenía la finalidad de determinar si posibles causas como: ansiedad, depresión o estrés, originadas por la pandemia, hayan provocado un bajo rendimiento académico en estu-

diantes, este estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Colima, específicamente en el área de Ingeniería en Gestión Empresarial, mismo que cuenta con 303 alumnos matriculados.

Sin embargo, y con la finalidad de realizar un censo, nuestra población fue el número de estudiantes de 6° semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico de Colima, es decir, se tuvo la finalidad de censar 70 alumnos.

En el caso de nuestro instrumento, aplicamos un censo a nuestra población por medio de un cuestionario en donde debían seleccionar la frecuencia con la que se les presenta dicha situación planteada. De esta forma, en dicho instrumento se interrogaba acerca del número de control del alumno, así como su género y el promedio general alcanzado durante el segundo semestre, esto con el fin de conocer su desempeño académico antes de iniciar las clases en línea, esto originado por la pandemia.

Por su parte, en la sección de preguntas se implementó la escala de Likert para dar respuesta ante dichas interrogantes, esto a fin de identificar si existía la presencia de ciertos factores perjudiciales en los estudiantes previamente seleccionados, generado a partir de la contingencia del COVID-19.

De esta forma, las primeras cinco interrogantes tenían la finalidad de detectar si existía ansiedad en los alumnos, asimismo de la sexta a la décima pregunta se planeaba detectar si se presentaba depresión, y de la interrogante onceava a la quinceava para identificar posibles factores de estrés.

Finalmente, se preguntaba el promedio general alcanzado durante el quinto semestre, pues este fue el último periodo que se tomó las clases de manera en línea. Para poder llevar a cabo y lograr censar a nuestra población, en este caso a los 70 estudiantes de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial que cursan 6° semestre, optamos por implementar nuestro instrumento a través de la plataforma de Google Forms.

Es decir, enviamos a través del chat de grupo de Whatsapp de cada uno de los salones de 6° semestre el enlace para que el estudiante pudiera ingresar y responder dicho formulario, solicitándoles que únicamente respondieran los alumnos que su matrícula institucional iniciara con los dígitos 1946, pues estos son alumnos que cursan el 6° semestre de dicha carrera universitaria.

III. Resultados

De esta manera, una vez aplicado nuestro censo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial de 6° semestre pudimos darnos cuenta de que, mientras cursaron el segundo semestre (FEBRERO-JUNIO 2020) de la carrera universitaria, mismo que fue el último semestre de manera presencial, el 62.9% de los

estudiantes contaban con un promedio mayor a 90 puntos, mientras que el 36.7% tenían un promedio entre 70-89 puntos y únicamente el 1.4% contaba con un promedio por debajo de 69 puntos, tal y como se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Diagrama del promedio general final en segundo semestre

Por su parte, obtuvimos que los estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial de 6º semestre que cursaron el quinto semestre (AGOSTO-DICIEMBRE 2021) de la carrera universitaria, mismo que fue el último semestre que se implementó la modalidad a distancia, el 55.7% de los estudiantes censados cuenta con un promedio superior a 90 puntos, mientras que el 44.3% cuenta con un promedio entre 70-89 puntos, tal y como se muestra en la Figura 2.

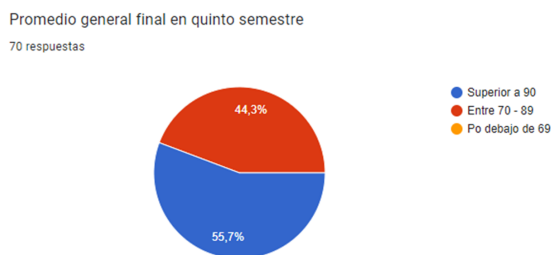


Figura 2: Diagrama del promedio general final en quinto semestre

De esta forma, a pesar de que durante la cuarentena se presentó un ascenso del 1.4% en relación con el promedio académico, se obtuvo un descenso del 7.2% con relación con los estudiantes que contaban con un promedio superior a 90 puntos.

Por ello, pudimos notar que evidentemente se presentó un descenso en cuestión al rendimiento académico de nuestra población, y de esta manera que posiblemente los factores del estrés, ansiedad o depresión pudieron ser la causa de dicho suceso.

Por ello, para poder determinar dicha suposición, utili-

zamos la estadística descriptiva para de esta forma implementar ciertas herramientas como: la media aritmética, la escala de Likert y la escala de Pearson.

De esta forma, implementamos la escala de Likert en cada una de las afirmaciones de nuestro formulario, a fin de convertir los resultados cualitativos a cuantitativos, para posteriormente utilizar el promedio y seleccionar la interrogante con un promedio mayor en cada una de las variables, es decir, del estrés, ansiedad y depresión.

Es así como, mediante la escala de Pearson, analizamos si nuestras variables de ansiedad, depresión o estrés, mismas que denominamos X, presentan una correlación entre el rendimiento académico de los estudiantes censados el cual denominamos nuestra variable Y.

De esta manera, la ansiedad es un trastorno mental en el cual el estudiante con frecuencia se encuentra en un estado preocupado o ansioso, ocasionándole falta de atención o molestia en sus actividades escolares.

De esta forma, dicho trastorno después de haber analizado los resultados, detectamos que se vió presente en nuestra población mediante la falta de concentración en las sesiones virtuales. Pues, y de acuerdo con los resultados obtenidos, el 42.9% de los estudiantes dijo que casi siempre les ocurría dicha problemática. Asimismo, el 32.9% de los alumnos respondió que a veces, mientras que el 14.3% respondió que siempre les faltaba concentración en las sesiones virtuales y únicamente el 10% planteó que rara vez les faltaba concentración en las clases virtuales, tal y como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Diagrama de la falta de concentración en las sesiones virtuales

De esta manera, podíamos afirmar que con una frecuencia de casi siempre, nuestra población censada presentaba falta de concentración en las sesiones virtuales.

De esta forma, y de acuerdo con nuestra hipótesis, la cual establecía que la ansiedad era uno de los principales motivos perjudiciales causados por la pandemia que ha provocado un bajo desempeño académico en los estudiantes de 6º semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, pudimos afirmar que dicho trastorno, a pesar de haberse presentado afectando la concentración de los estudiantes en las clases virtuales, no era considerado

como uno de los motivos ante dicho descenso académico.

Pues analizando las demás interrogantes relacionadas a detectar la ansiedad, para los estudiantes no generó molestia alguna realizar un examen de manera en línea, asimismo mantuvieron una respuesta neutral en aspectos como participar en las sesiones virtuales, desaprobación de las propuestas que efectuaban, entre otros.

Sin embargo, y con la finalidad de tener mayor seguridad de dicha afirmación, implementamos la estadística descriptiva mediante la escala de Pearson, esto con la finalidad de reafirmar que la ansiedad no era considerada como uno de los motivos ante dicho descenso académico.

Por ello, en el caso de la ansiedad, la cual se vió presente mediante la falta de concentración en las sesiones virtuales, pudimos reafirmar que no fue un factor que afectó el rendimiento académico de los estudiantes censados.

Pues una vez aplicado el coeficiente de correlación de Pearson obtuvimos que es una correlación negativa baja, es decir, la ansiedad no causó un descenso en el desempeño académico de los estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial de 6º semestre durante la pandemia, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Tabla de la correlación de Pearson con el factor de la ansiedad

Correlación de Pearson	
Falta de concentración en las sesiones virtuales	
<i>n</i>	70
<i>X</i>	253
<i>Y</i>	179
<i>X * Y</i>	640
<i>X²</i>	965
<i>Y²</i>	475
$r_{xy} = \frac{(70*640)-(253*179)}{\sqrt{70*965-(253)^2} \sqrt{70*475-(179)^2}} = \frac{-487}{(59.50)(34.77)} = -0.23$	

Por su parte, la depresión es el trastorno mental en donde el estudiante presenta un estado de ánimo bajo, generando dificultad para aprender.

Por ello, la depresión era otra de las posibles problemáticas que pudo haberse presentado en nuestra población censada durante el confinamiento, afectando su rendimiento académico.

De esta manera, la depresión se vió presente en los estudiantes censados mediante el poco interés que presentaban por entrar a las sesiones virtuales. Sin embargo, el 45.7% de los estudiantes manifestaron que a veces presentaban poco interés por asistir a las sesiones virtuales.

De la misma manera, el 12.9% de los estudiantes expresó que rara vez pasaban por dicha circunstancia y

el 5.7% de los alumnos opinaron que nunca les había ocurrido dicho problema. Por el contrario, el 24.3% de los estudiantes afirmaron que casi siempre tenían muy bajo interés por entrar a las sesiones virtuales. Asimismo, el 11.4% de los estudiantes expresó que siempre pasaban por dicha problemática, tal y como se muestra en la Figura 4.

10. Poco interés por entrar a las sesiones virtuales
70 respuestas

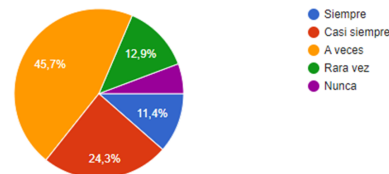


Figura 4: Diagrama del poco interés por entrar a las sesiones virtuales

Por ende, pudimos establecer que con una respuesta mayoritaria neutral, los estudiantes no presentaron desinterés por asistir a las sesiones virtuales.

De esta forma, y de acuerdo con nuestra hipótesis, la cual establecía que la depresión era uno de los principales motivos perjudiciales causados por la pandemia que ha provocado un bajo desempeño académico en los estudiantes de 6º semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, pudimos afirmar que dicho trastorno no fue considerado como uno de los motivos ante dicho descenso académico.

Pues en algunos aspectos, como el descontento con la enseñanza que ha recibido en las clases virtuales, la poca comunicación con su equipo de trabajo, el constante desgano por llevar a cabo cierta actividad o el poco interés por asistir a las sesiones virtuales, establecieron una respuesta de forma neutral ante dichas circunstancias.

No obstante, y con el propósito de tener mayor seguridad de dicha confirmación, aplicamos la estadística descriptiva mediante la escala de Pearson, esto con la finalidad de ratificar que la depresión no era considerada como uno de los motivos ante dicho descenso académico.

De esta forma, la depresión, el cual fue un factor que se presentó mediante el poco interés por entrar a las sesiones virtuales, podemos establecer que no fue una causa que originó un descenso en el rendimiento académico de nuestra población.

Pues, una vez aplicado el coeficiente de correlación de Pearson, obtuvimos que es una correlación negativa muy baja, es decir, la depresión no fue un factor que afectó el rendimiento académico de los estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial de 6º semestre, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de la correlación de Pearson con el factor de la depresión

Correlación de Pearson	
Poco interés por entrar a las sesiones virtuales	
<i>n</i>	70
<i>X</i>	226
<i>Y</i>	179
<i>X * Y</i>	573
<i>X</i> ²	800
<i>Y</i> ²	475

$$r_{xy} = \frac{(70*573) - (226*179)}{\sqrt{70*800 - (226)^2} \sqrt{70*475 - (179)^2}} = \frac{-344}{(70.17)(34.77)} = -0.14$$

Por su parte, el estrés es un trastorno en donde el estudiante sufre tensión, ya sea emocional o física, originado por diversos factores externos que se encuentran en su alrededor. De esta forma, el estrés fue otra de las posibles problemáticas que pudo haberse presentado en nuestra población censada durante el confinamiento, afectando su rendimiento académico.

De esta manera, dicha problemática se vió presente en los estudiantes mediante la sobrecarga de trabajos escolares provocada por la acumulación por falta de organización.

Pues, el 24.3 % de los alumnos manifestaron que casi siempre presentaban un excedente de trabajos debido a la acumulación por falta de planificación, asimismo el 15.7 % de los estudiantes planteó que siempre les ocurría dicho problema. Sin embargo, el 41.4 % de los estudiantes planteó que a veces pasaban por dicha sobrecarga de trabajos escolares.

Por su parte, el 17.1 % de los estudiantes dijo que rara vez les ocurría dicho problema y el 4.3 % estableció que nunca se les presentó dicha problemática, tal y como se muestra en la Figura 5.

11. Sobrecarga de trabajos escolares debido a la acumulación por falta de organización.
70 respuestas

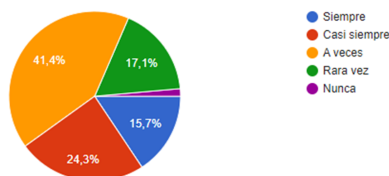


Figura 5: Diagrama de la Sobrecarga de trabajos escolares debido a la acumulación por falta de organización

De esta manera, podemos afirmar que con una respuesta mayoritaria neutral, los alumnos a pesar de presentar

una sobrecarga de trabajos académicos provocada por una acumulación por falta de organización, esta no interviene en el descenso académico presente.

De esta manera, y de acuerdo con nuestra hipótesis, la cual establecía que el estrés es uno de los principales motivos perjudiciales causados por la pandemia que ha provocado un bajo desempeño académico en los estudiantes de 6º semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, podemos afirmar que dicho trastorno no es considerado como uno de los motivos ante dicho descenso académico.

Pues en algunos aspectos, como la sobrecarga de trabajos académicos provocada por una acumulación por falta de organización, poca comprensión en los temas abordados en las clases en línea, frustración al momento de tomar cierta clase de manera virtual debido a la mala comunicación con su docente, sentimiento de irritabilidad al momento de no entender como realizar cierta actividad académica o dificultad para tomar una decisión académica, establecieron una respuesta de forma neutral ante dichas circunstancias.

Sin embargo, y con la finalidad de tener mayor seguridad de dicha afirmación, implementamos la estadística descriptiva mediante la escala de Pearson, esto con la finalidad de reafirmar que el estrés no es considerado como uno de los motivos ante dicho descenso académico.

De esta manera, el estrés, el cual se vió presente en los estudiantes censados por la sobrecarga de trabajos escolares debido a la acumulación por falta de organización, pudimos afirmar que no tuvo relación con el descenso del rendimiento académico de los estudiantes de Ingeniería en Gestión empresarial de 6º semestre.

Pues, una vez aplicado el coeficiente de correlación de Pearson, obtuvimos una correlación negativa baja, es decir, el estrés, a pesar de haberse presentado en los estudiantes censados, no fue causa ante dicho descenso académico, tal y como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Tabla de la correlación de Pearson con el factor del estrés

Correlación de Pearson	
Sobrecarga de trabajos escolares debido a la acumulación por falta de organización	
<i>n</i>	70
<i>X</i>	235
<i>Y</i>	179
<i>X * Y</i>	594
<i>X</i> ²	857
<i>Y</i> ²	475

$$r_{xy} = \frac{(70*594) - (235*179)}{\sqrt{70*857 - (235)^2} \sqrt{70*475 - (179)^2}} = \frac{-344}{(69.02)(34.77)} = -0.20$$

IV. Conclusiones

La pandemia causada por COVID-19 provocó diversos cambios y dificultades en la vida cotidiana de las personas, específicamente en ámbitos educativos.

Por ello, nuestro tema de investigación se centró en detectar los factores adversos que, causados por la pandemia, influyeron en el rendimiento escolar de los estudiantes del 6° semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico de Colima.

Sin embargo, una vez analizados nuestros datos pudimos percatarnos que evidentemente se presentó un descenso en el rendimiento académico de la población seleccionada. Pero ante dicha problemática, la ansiedad, la depresión y el estrés, a pesar de haberse presentado en ciertos aspectos, no fueron las causas que originaron dicho descenso académico.

Pues, la ansiedad fue un trastorno que se presentó en los estudiantes principalmente por la falta de concentración en las sesiones virtuales.

Sin embargo, implementando la estadística descriptiva por medio de la correlación de Pearson, podemos afirmar que la ansiedad no fue uno de los factores que causó dicho descenso en el rendimiento académico de los estudiantes, pues obtuvimos una correlación negativa baja.

De igual forma, al implementar la estadística inferencial, con una respuesta mayoritaria neutral ante dicho trastorno, podemos afirmar que la ansiedad no fue una de las causas de dicho descenso académico.

Por su parte, la depresión fue otro trastorno que se mostró en los alumnos censados principalmente por el poco interés por entrar a las sesiones virtuales.

Sin embargo, al implementar la estadística inferencial, con una respuesta en cada uno de los planteamientos neutral ante dicho trastorno se puede establecer que no tiene relación ante dicho descenso.

Asimismo, implementando la estadística descriptiva por medio de la correlación de Pearson, obtuvimos una correlación negativa muy baja, lo que significa que no existe una relación entre el descenso académico y la depresión, es decir que, podemos afirmar que la depresión no fue uno de los factores que causó dicho descenso en el rendimiento académico de los estudiantes.

Por otro lado, el estrés fue otro de los trastornos que se presentó en los alumnos censados, esto mediante la sobrecarga de trabajos escolares debido a la acumulación por falta de organización.

Sin embargo, analizando los datos mediante la estadística descriptiva obtuvimos una respuesta neutral ante dicho trastorno, es decir, el estrés no es un factor que intervino ante dicha problemática.

Por su parte, implementado el coeficiente de correlación de Pearson, obtuvimos una correlación negativa baja, lo que nos confirma que el estrés no fue una de

las causas que provocó dicho descenso en el rendimiento académico de los estudiantes.

Por ello, y de acuerdo con nuestra hipótesis la cual suponía que el estrés, la depresión y la ansiedad eran algunos de los principales motivos perjudiciales causados por la pandemia que provocaron un bajo desempeño académico en los universitarios, podemos afirmar que dichas problemáticas no causaron un descenso en el rendimiento académico de los alumnos de 6° semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial.

De esta manera, este resultado abre la posibilidad de continuar con la indagación a fin de determinar los posibles factores o motivos que originaron dicho descenso en el desempeño académico de los estudiantes de 6° semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial.

Pues una posible opción que podría haber contribuido en dicho descenso académico es la metodología que se implementó para impartir la educación en línea, por ello sería de suma relevancia analizar y determinar la forma en que los docentes impartieron las sesiones virtuales.

Agradecimientos

Gracias al Instituto Tecnológico de Colima por habernos permitido llevar a cabo este proyecto, y de igual forma a los docentes que nos brindaron su ayuda desde el comienzo de esta investigación.

Referencias

- [1] EL FINANCIERO. *Un 31 de diciembre de 2019 la oms Reportaba primeros casos de una 'misteriosa' neumonía en China*. Dic. de 2020. URL: <https://www.elfinanciero.com.mx/mundo/un-31-de-diciembre-de-2019-la-oms-reportaba-los-primeros-casos-de-una-misteriosa-neumonia-en-china/>.
- [2] Concepción Torres Ramírez. *El Cierre de Escuelas Provocado por la covid-19: Consecuencias y condiciones para la reapertura*. Jun. de 2021. URL: <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/5265>.
- [3] Pablo Clark García Dobarganes. *Educación en pandemia: los riesgos de las clases a distancia*. 2021. URL: https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2021/06/20210602_Educacio%5C%CC%5C%81n-en-pandemia_Documento.pdf.

Parallel segmentation algorithm over aquaculture images

Algoritmo de segmentación paralela en imágenes de acuicultura

Yael Alejandro Santana-Michel¹, María Guadalupe Sánchez-Cervantes^{*1}, Marco Antonio Meza-Aguilar¹, and Daniel Fajardo-Delgado¹

¹ TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Tecnológico 100, Ciudad Guzmán, Jalisco, 49100.

{m21290940, maria.sc1, marco.ma, daniel.fd}@cdguzman.tecnm.mx

Abstract

Within the field of aquaculture, when working with image analysis, the correct execution of preprocessing and segmentation algorithms for the selection of fish regions becomes a primary factor. Depending on the case, the number of images to be processed by these algorithms can significantly increase the time required to obtain the final result, thus delaying the ability to provide results. When it comes to processing large amounts of data, the paradigm of parallelization has given important results, reducing the execution time to complete complex tasks. In this article, it is proposed to carry out the preprocessing and segmentation processes in parallel, trying to optimize the time required to obtain the set of images prepared for their subsequent analysis. A comparison was made in execution times with different computers, and the experimental results show that it is better to use four or six execution threads by parallelizing the image preprocessing and segmentation algorithm

Keywords— parallelization, images segmentation, aquaculture

Resumen

Dentro del ámbito de la acuicultura, cuando se trabaja con análisis de imágenes, se vuelve un factor primordial la ejecución correcta de algoritmos de preprocesamiento y segmentación para selección de regiones de interés de los peces. Dependiendo el caso, la cantidad de imágenes a ser procesadas por estos algoritmos puede

incrementar de manera significativa el tiempo requerido para obtener las imágenes segmentadas, retardando así, la capacidad de brindar resultados. Cuando se trata de procesamiento en grandes cantidades de datos el paradigma de la paralelización ha dado resultados importantes, reduciendo el tiempo de ejecución para completar tareas complejas. En este artículo se propone realizar el preprocesamiento y segmentación de imágenes de manera paralela, para optimizar el tiempo requerido para obtener el conjunto de imágenes para su análisis posterior. Se realizó una comparativa en tiempos de ejecución con distintos equipos de cómputo paralelo, y los resultados experimentales muestran que es mejor utilizar cuatro o seis hilos de ejecución al paralelizar el algoritmo de preprocesamiento y segmentación de imágenes.

Palabras clave— paralelización, segmentación de imágenes, acuicultura

I. Introducción

La acuicultura es la actividad agrícola que se dedica a la cría de organismos acuáticos en cualquiera de sus fases de desarrollo. Dicha crianza supone la intervención del humano con el objetivo de aumentar la producción y calidad de organismos bajo el concepto de producir crías de óptima calidad, mejorar la resistencia a enfermedades, desarrollo de dietas y utilizar métodos de cultivo [1].

En este ámbito, el monitoreo del estado de los peces durante el cultivo puede ayudar a mejorar la rentabilidad de los productores al asegurar la salud del espécimen y reducir la probabilidad de pérdidas graves debido a

* Autor de correspondencia

enfermedades e incidentes de estrés, esto apoyado en que el patrón de coloración de la piel en los peces, no solo es representativo de las tasas de crecimiento, sino que también, muestra el bienestar de los peces [2], entonces, es ahí donde el análisis de imágenes puede ofrecer un aporte a este objetivo.

El procesamiento digital de imágenes es la disciplina que busca extraer información del mundo real de manera automática a partir de una imagen, de un conjunto o secuencia de imágenes, para lo cual se emplean diversos algoritmos operacionales sobre los píxeles que componen las imágenes. Esta extracción de características depende del proceso de detección de los elementos que constituyen una imagen. Para este propósito pueden ser usadas técnicas que permiten el reconocimiento de imágenes, y para ello el elemento clave es el filtrado realizado sobre las imágenes [3].

El curso general de todo sistema que implementa análisis sobre imágenes consta de las siguientes etapas: adquisición de imágenes, preprocesamiento, segmentación, detección de objetos y clasificación y, finalmente el análisis de imagen [4].

Durante la primera etapa de la adquisición de imágenes, existen factores físicos difíciles de controlar tales como: niveles bajos de iluminación, artefactos (elementos dentro de la imagen que pueden, o no, ser de utilidad) y niveles de contraste que afectan el análisis [5].

Estos problemas generalmente son creados durante las etapas de adquisición de la imagen, sin embargo, pueden ser mitigados con la aplicación de la etapa de preprocesamiento. Dicha etapa está constituida por técnicas de filtrado, posteriormente durante la etapa de segmentación se realiza la definición de regiones de interés sobre las imágenes, destacando únicamente las zonas de la imagen con la que la etapa de detección de objetos realizará su trabajo, definiendo los objetos que se utilizarán para la última etapa. Finalmente en la etapa de análisis, es donde se determina la manera en que serán clasificados los objetos encontrados dentro de la imagen [6].

El éxito de la etapa de segmentación sobre imágenes, en muchos casos, depende de la etapa de preprocesamiento, ya que se puede determinar de una mejor manera las regiones de interés. En la etapa de preprocesamiento se realizan diversas operaciones sobre los píxeles, del mismo modo, pueden ser aplicados diversos filtros sobre la imagen para mejorar la definición de objetos o resaltar características dentro de ésta [7].

El tiempo computacional que se invierte en realizar estas operaciones es considerable, y más cuando se toman en cuenta las imágenes de gran tamaño o cuando se requiere procesar varias imágenes.

Para el caso de procesar grandes cantidades de imágenes, así como imágenes con una gran cantidad de píxeles, el paradigma de programación paralela, o multiprocesa-

miento, puede ser una solución en donde cada uno de las unidades centrales de procesamiento (CPU, por sus siglas en inglés) puede realizar operaciones con cada imagen o píxel [8].

En la revisión de artículos realizada por los autores, se han encontrado trabajos que tratan el tema de la paralelización de segmentación de imágenes de distintas índoles, por ejemplo, en [9] los autores hacen uso de la paralelización por tarjeta gráfica para segmentación de imágenes de resonancias magnéticas, mientras que en [10] el autor usa una aproximación utilizando los hilos de trabajo de un procesador para trabajar imágenes geográficas de satélites. Este artículo propone una solución para el área de la acuicultura. Cabe mencionar que hasta donde conocen los autores, no hay trabajos que propongan algún algoritmo paralelo para realizar trabajos de segmentación en imágenes para acuicultura.

En este artículo se propone un algoritmo paralelo que realice el preprocesamiento y segmentación en imágenes de peces, más específicamente, sobre el pez llamado Lenguado Senegalés (*Solea senegalensis*). Además, para demostración práctica, se llevó a cabo comparativas de los tiempos de ejecución con dos equipos de cómputo, así como con distintas configuraciones de hilos.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describen las herramientas de software que fueron empleadas para el desarrollo del algoritmo propuesto. En la sección III se dan las pautas del paralelismo necesaria para entender el tema. En la sección IV se detalla la metodología empleada para el trabajo de preprocesamiento y segmentación paralela sobre las imágenes. En la sección V se describen las pruebas a realizar sobre las imágenes. Finalmente, en las secciones VI y VII se muestran los resultados y las conclusiones de las pruebas realizadas, respectivamente.

II. Herramientas de software

Para llevar a cabo los experimentos se utilizó el lenguaje de programación Python y la biblioteca libre de visión artificial OpenCV. A continuación se explica brevemente cada uno de ellos.

II.1. Python

Python es un lenguaje de alto nivel de uso general, esto significa que el código es compilado a código de bytes y ejecutado por el CPU, es consistente con el uso del paradigma de programación orientada a objetos, permitiendo escribir código tanto para pequeñas como grandes tareas. Además, debido a que Python puede ser extendido en C y C++, provee la velocidad de cómputo intensivo sin perder velocidad [11]. Por todo lo anterior, Python se ha convertido en el lenguaje de programación más popular para ciencia de datos y otras áreas emergentes [12].

II.2. OpenCV

La librería de visión artificial y código abierto (OpenCV, por sus siglas en inglés), proporciona un marco de trabajo de alto nivel para el desarrollo de aplicaciones de visión por computadora en tiempo real tales como: estructuras de datos, procesamiento y análisis de imágenes, análisis estructural de objetos, entre otras [13].

Este marco de trabajo facilita en gran manera el aprendizaje e implementación de distintas técnicas de visión por computador, tanto a nivel educacional como de investigación, aislando al desarrollador de las peculiaridades de los distintos sistemas de visión, así como las distintas maneras de manipulación de imágenes [13].

III. Paralelismo

El paralelismo es la ejecución de tareas de manera simultánea sobre distintos procesadores, esto puede lograrse cuando el hardware utilizado cuenta con un conjunto de procesadores con capacidad para ejecutar de manera coordinada un algoritmo. En general, dado un problema, es dividido en subproblemas que son resueltos simultáneamente por los procesadores disponibles [14].

III.1. Clasificación del paralelismo

En el trabajo [14] el autor menciona que la clasificación hecha por Flynn está centrada en la manera en que las instrucciones son ejecutadas sobre los datos, ya que, cualquier computadora opera ejecutando instrucciones sobre los datos y, de acuerdo con esto, se puede identificar cuatro clases básicas, las cuales se mencionan a continuación.

SISD

Es la arquitectura usada por la mayoría de los equipos de cómputo. Las instrucciones son ejecutadas una después de otra, una por ciclo de instrucción y la memoria afectada solo es usada para esa instrucción. Este tipo de ejecución de instrucciones suele utilizarse empleando la CPU del equipo de cómputo [14].

MISD

En este caso, un número de procesadores ejecutan un flujo de instrucciones distinto, sin embargo, estos comparten datos comunes entre sí. El mismo conjunto de datos es operado simultáneamente por los procesadores de manera que para un mismo conjunto de datos existen diversas salidas distintas, dependiendo de las instrucciones ejecutadas, y suele ser ejecutado utilizando tres tecnologías distintas: CPU, unidad de procesamiento gráfico (GPU, por sus siglas en inglés) y unidades de procesamiento tensorial (TPU, por sus siglas en inglés) [14].

SIMD

Para este caso, el equipo cuenta con un conjunto de procesadores idénticos con sus propias memorias, estos ejecutan la misma instrucción bajo el control de una unidad de control o procesador (*host*) sobre distintos datos. El *host* hace *broadcast* de la instrucción a ser ejecutada a cada uno de los procesadores paralelos, ejecutando simultáneamente las operaciones a realizar. Aunque este tipo de instrucciones puede ser ejecutado tanto en CPU, GPU o TPU, suele recomendarse ejecutar este tipo de instrucciones en CPU o TPU [14].

MIMD

Cada uno de los procesadores tiene su propio flujo de instrucciones y de datos, por lo que puede ejecutar un programa específico independientemente de los otros. Son las computadoras paralelas de propósito más general. Constan de n procesadores, cada uno con su propia unidad de control, donde cada procesador ejecuta una instrucción distinta sobre diferentes datos, en este tipo de sistemas puede, o no, existir una memoria compartida, así como un sistema de sincronización. Este tipo de instrucciones pueden ser ejecutados tanto por CPU, como GPU o TPU, sin embargo, se asocia más a ser ejecutados por GPU [14].

IV. Metodología empleada

Para realizar la segmentación de una imagen se propone el Algoritmo 1, el cual será descrito a continuación.

Algoritmo 1 Preprocesamiento y segmentación de la imagen.

Entrada: *imagen*

Salida: *imagenSegmentada*

```

1: datosImagen ← imread(imagen)
2: imagenGris ← cvtColor(datosImagen)
3: imagenBinaria ← threshold(imagenGris, 127, 255, THRESH_BINARY)
4: contornos ← findContours(imagenBinaria)
5: para todo contorno en contornos hacer
6:   si area(contorno) > 100 entonces
7:     pez ← contorno
8:     romper ciclo
9:   fin si
10: fin para
11: mascara ← zeros(datosImagen, uint8)
12: drawContours(mascara, pez, transparencia)
13: imagenSegmentada ← bitwise(datosImagen, mascara)
14: devolver imagenSegmentada

```

El algoritmo recibe como entrada la imagen del pez, sobre la cual se realiza las operaciones de preprocesamiento y segmentación. La salida del algoritmo es la imagen del pez en la cual se eliminó el fondo, dejando únicamente la región de interés, es decir, la región que comprende el cuerpo del pez; el resultado esperado se puede observar en la Figura 1.

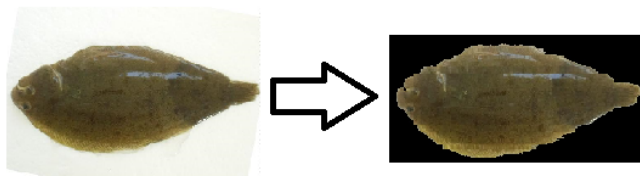


Figura 1: Ejemplo de salida esperada del algoritmo

		165	187	209	58	7
	14	125	233	201	98	159
253	144	120	251	41	147	204
67	100	32	241	23	165	30
209	118	124	27	59	201	79
210	236	105	169	19	210	156
35	178	199	197	4	14	218
115	104	34	111	19	195	
32	69	231	203	74		

Figura 3: Matriz tridimensional RGB

IV.1. Preprocesamiento

Lectura de la imagen

Para realizar las operaciones pertinentes sobre cada una de las imágenes, se requiere leer los datos de ésta y almacenarlas de manera matricial para su manipulación; para este caso las imágenes se vuelven una matriz del ancho de píxeles por su alto, en donde cada elemento de la matriz representa un píxel. La representación matricial de una imagen se puede observar en la Figura 2. Además, si la imagen se encuentra en formato RGB (siglas en inglés de Red, Green, Blue), se agrega una tercera dimensión, en donde cada uno de los índices se representa por cada color, como se observa en la Figura 3.

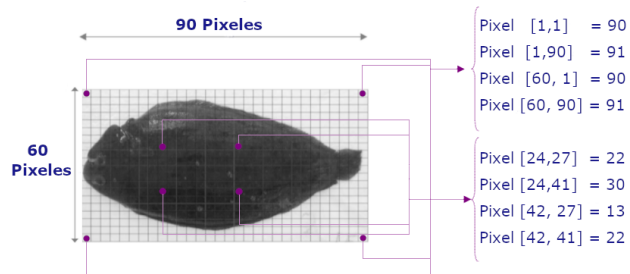


Figura 2: Ejemplo de representación de una imagen en forma matricial

La matriz de píxeles se obtiene utilizando la librería OpenCV de Python llamada “cv2”. El método a utilizar para leer la imagen es “imread” de “cv2”, en donde el parámetro “imagen” representa la ruta de la imagen a

leer por el método, retornando un arreglo tridimensional con los valores RGB de la imagen.

Binarización

Una vez que se obtiene la información completa de la imagen, se busca hacer una detección de bordes a través del método de la binarización. En una imagen binaria cada uno de los píxeles asume un valor discreto, esencialmente dichos valores son 1 ó 0. Para poder hacer una binarización se requiere de trabajar una imagen en escala de grises, para lo cual, openCV cuenta un método para convertir una imagen en escala de grises a una imagen binaria, dicha secuencia de acciones se muestra en el Algoritmo 1 en las líneas 2 y 3.

El método “cvtColor” es utilizado para modificar la configuración de colores de la imagen y la cual recibe dos parámetros: la imagen (la cual es la imagen a modificar); y la configuración de color resultante (el cual para este caso se proporciona la constante de openCV “COLOR_RGB2GRAY” para convertir la imagen a escala de grises). Con el resultado “imagenGris”, se convierte la imagen binaria utilizando el método “threshold”, el cual recibe una imagen en escala de grises, un valor de color que es el umbral, el cual define la condición de conversión de color, después requiere de un valor de sobre-escritura (255 en este caso) y finalmente, el método de binarización a utilizar, dado por constantes de la librería openCV, siendo “THRES_BINARY” el seleccionado.

IV.2. Segmentación

Este paso del procesamiento de imágenes consta de operaciones para hacer una partición de la imagen en varias regiones, estas regiones representan la información necesaria para resolver el problema [4]. En este caso el

algoritmo hace uso de la binarización del paso anterior para señalar la presencia de objetos, para posteriormente seleccionar únicamente la región de interés para su respectivo análisis. En el Algoritmo 1 puede observarse dicha implementación en las líneas 4 a la 14. Se requiere importar la librería de “*numpy*”. El algoritmo toma la imagen binarizada y la utiliza para hacer la identificación de contornos, obteniendo la lista de contornos dentro de la imagen; posteriormente, elimina todos aquellos contornos que no son relevantes, seleccionando únicamente la región del cuerpo del pez, finalmente se crea una máscara de la imagen para posteriormente realizar una fusión entre la imagen original y la máscara, dejando únicamente el área de interés para su análisis.

IV.3. Paralelizando la ejecución

La paralelización del Algoritmo 1 se realiza con la finalidad de reducir el tiempo de ejecución requerido en las etapas de preprocesamiento y segmentación sobre imágenes de peces, haciendo uso del tipo de instrucciones SIMD de la clasificación de Flynn (explicado en la Sección III.1). En el Algoritmo 2 se muestra la paralelización.

Algoritmo 2 Paralelización de la segmentación

Entrada: *imagenes, procesos*

Salida: *imagenesSegmentadas*

- 1: *crear pilaProcesos indicando procesos*
 - 2: *imagenesSegmentadas* ←
pilaProcesos.starmap(Algoritmo1, imagenes)
 - 3: *cerrar pilaProcesos*
 - 4: **devolver** *imagenesSegmentadas*
-

El algoritmo hace uso de la clase *Pool*, perteneciente a la librería *multiprocessing*. Primero se crea una variable de resultados llamada “*imagenesSegmentadas*”, para posteriormente crear la pila de procesos con la cantidad de procesos indicada por el usuario, de esta manera pasar el Algoritmo 1 a todos los hilos disponibles para su procesamiento utilizando el método “*starmap*”, el cual requiere como parámetros el algoritmo a ejecutar y la información que será enviada, finalmente se guardan las imágenes segmentadas en la variable correspondiente.

V. Resultados experimentales

V.1. Hardware utilizado

Para realizar los experimentos se utilizaron dos equipos de uso general con especificaciones distintas entre sí. El equipo de cómputo número 1 cuenta con un procesador Intel Core i7-4610M con 4 núcleos y 4 hilos, 16 GB de memoria RAM DDR3 y disco duro de 250 GB, mientras que el equipo de cómputo número 2 cuenta con un procesador Ryzen 5-5600G con 6 núcleos y 12 hilos, 16 GB

de memoria RAM DDR4 y disco duro de 1 TB. El objetivo de realizar la prueba con dos equipos distintos es hacer una comparativa con los resultados y reducir sesgos con los mismos.

V.2. Métricas de evaluación

Existen diversas métricas para evaluar a los algoritmos paralelos, sin embargo, para este trabajo se utilizó el *speedup* (velocidad comparativa en que se ejecutan los algoritmos), el cual se calcula utilizando la Ecuación (1).

$$Speedup = \frac{\text{tiempo secuencial}}{\text{tiempo paralelo}} \quad (1)$$

Además, es importante mencionar que se obtuvo el promedio del tiempo de ejecución (de 100 ejecuciones), para cada conjunto de imágenes procesadas.

V.3. Descripción de las pruebas

Para medir el desempeño del algoritmo se utilizaron cuatro conjuntos de imágenes de peces, específicamente hablando, son 61 imágenes del Lenguado Senegalés (*Solea senegalensis*), las cuales, fueron duplicadas con el propósito de simular *data sets* con grandes cantidades de imágenes por procesar; la cantidad de imágenes es de 100, 200, 600, 1000 y 1500 imágenes para cada conjunto. Cada uno de los conjuntos fue ejecutado 100 veces, de tal manera que se toma el tiempo de ejecución promedio de cada conjunto, así mismo, las pruebas del algoritmo paralelo se ejecutaron con distintas cantidades de procesos simultáneos (hilos -H-), las cuales son 2, 4 y 6, esto con la finalidad de realizar una comparativa con los tiempos de la ejecución.

VI. Resultados

Para cada uno de los equipos de cómputo se obtuvieron distintos resultados, después de la ejecución de las pruebas, los datos son congruentes con la teoría de la paralelización, en donde se obtiene un aumento en el rendimiento. Los datos de las pruebas ejecutadas en los equipos número 1 y 2 pueden ser observados en las tablas 1 y 2 respectivamente, marcando con **negritas** los tiempos de ejecución menores para completar la segmentación de las imágenes.

Para analizar el rendimiento, se graficaron los resultados de tal manera que se pueda observar la reducción de tiempos de ejecución, dichas gráficas se encuentran en la Figura 4.

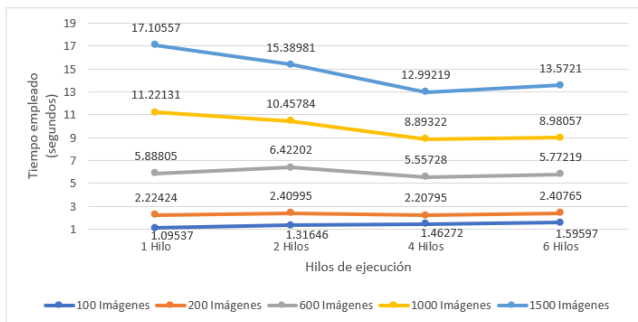
En la Figura 4a pueden ser observados los tiempos de ejecución con distintos hilos de ejecución del equipo 1; se destaca que hay una reducción de tiempo de ejecución cuando se procesan más de 600 imágenes con pico mínimo al utilizar 4 hilos, además, esta reducción se hace

Tabla 1: Tiempo de ejecución promedio en segundos equipo No 1

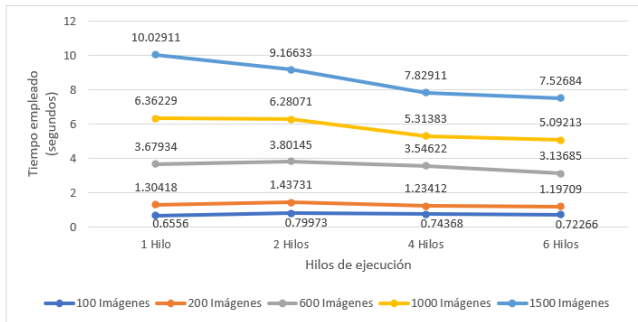
Imágenes	Secuencial	2 H	4 H	6 H
100	1.095	1.316	1.462	1.595
200	2.224	2.409	2.207	2.407
600	5.888	6.422	5.557	5.772
1000	11.221	10.457	8.893	8.9805
1500	17.105	15.389	12.992	13.572

Tabla 2: Tiempo de ejecución promedio en segundos equipo No 2

Imágenes	Secuencial	2 H	4 H	6 H
100	0.655	0.799	0.743	0.722
200	1.304	1.437	1.234	1.197
600	3.679	3.801	3.546	3.136
1000	6.362	6.281	5.313	5.092
1500	10.029	9.166	7.829	7.526



a) Tiempos de ejecución en segundos del equipo 1



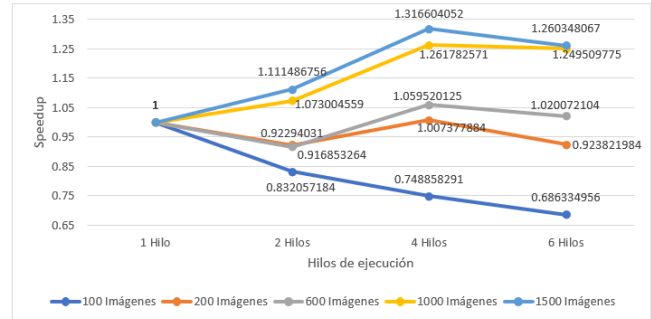
b) Tiempos de ejecución en segundos del equipo 2

Figura 4: Tiempos de ejecución. a) Equipo 1 b) Equipo 2

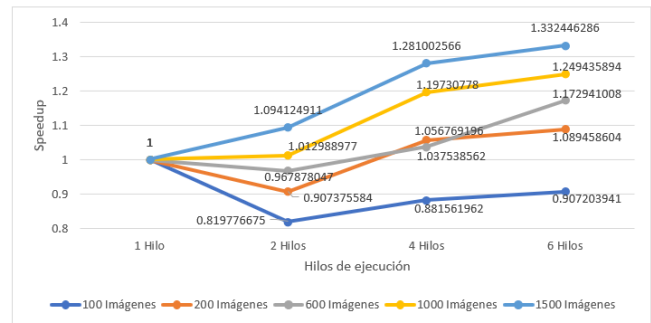
aún más notoria cuando se incrementa el número de imágenes.

En cambio, en la Figura 4b se puede observar la reducción de tiempo del equipo número 2, en donde notamos una variación en las condiciones con respecto al equipo 1, para este caso el pico mínimo de tiempo de ejecución se da cuando se utilizan 6 hilos, sin embargo, la cantidad de imágenes a procesar para notar una reducción en tiempo es el mismo, siendo 600 imágenes.

En cuanto a lo que se refiere al *speedup*, se utilizaron los datos de los tiempos de ejecución para calcular el *speedup* y se graficaron para facilitar su análisis, estas gráficas incluyen la información de cada equipo de cómputo y se muestran en la Figura 5.



a) Speedup del equipo 1



b) Speedup del equipo 2

Figura 5: Speedup. a) Equipo 1 b) Equipo 2

Los resultados muestran que el *speedup* de cada equipo de cómputo varía dependiendo de los componentes que lo integra, para este caso se puede observar, en la Figura 5a, que en el equipo de cómputo número 1, el *speedup* más alto se obtiene cuando se cumplen dos condiciones: la primera es que la cantidad de imágenes a procesar debe ser igual o mayor a 600, esto es debido a que la gestión de los procesadores tiene repercusión en el tiempo de ejecución para cuando el número es menor a esa cantidad; y que la cantidad de procesadores empleados debe ser igual a la cantidad de procesadores físicos con los que cuenta el equipo, lo anterior debido a que la generación de hilos de ejecución superiores a la cantidad de procesadores físicos merma el rendimiento de los mismos. Para ilustrar el caso experimentado se utilizó el mejor caso, en donde procesando 1500 imágenes con 4 hilos se puede observar un *speedup* de 1.3166, lo cual indica una reducción de tiempo de casi una tercera parte.

En cambio, con el equipo de cómputo número 2, se genera un pequeño cambio en una de las condiciones, y este cambio es únicamente en la cantidad de hilos de ejecución necesaria para poder obtener un *speedup* destacado, para este caso, se utilizó el resultado de procesar

1500 imágenes, en donde utilizando 6 hilos de ejecución se obtiene un *speedup* de 1.3324, reduciendo, al igual que el equipo 1, el tiempo de ejecución a dos terceras partes que haciéndolo de manera secuencial, esto se puede observar en la Figura 5b.

VII. Conclusiones

El algoritmo paralelo propuesto en este artículo se utiliza para llevar a cabo los procesos de preprocesamiento y segmentación en imágenes de peces, más específicamente, sobre el pez llamado Lenguado Senegalés (*Solea senegalensis*). El paralelismo resulta ser una buena opción para cuando es requerida la preparación de una gran cantidad de imágenes, permitiendo acelerar el proceso de tal manera que se pueda pasar a la etapa de análisis y clasificación más rápido.

Esto deja la conclusión de que se debe planear y comprobar los resultados de acuerdo con el equipo de cómputo a utilizar. Para realizar una buena ejecución paralela se debe considerar la cantidad de procesadores físicos con los que cuenta el equipo, además, la cantidad de imágenes para activar la ejecución paralela. En este estudio se utilizaron dos equipos de cómputo con distintas características, en donde los resultados experimentales muestran que cuatro o seis hilos de ejecución son los óptimos para la ejecución del algoritmo de segmentación de las imágenes, dependiendo del equipo de cómputo, además, se puede reducir el tiempo de ejecución a dos terceras partes que haciéndolo de manera secuencial.

Como trabajo futuro se puede explorar en adaptar y ejecutar el algoritmo en las GPU, o también implementaciones basadas en la nube, esto con el fin de realizar la comparativa de los tiempos de ejecución con este trabajo, así mismo medir el *speedup* con dichas soluciones.

Agradecimientos

Agradecimientos al CONACYT por otorgar una beca al autor Yael Santana, con CVU 1137661, para así, poder enfocar los esfuerzos en el trabajo y estudio a realizar.

Referencias

- [1] The Food and Agriculture Organization. *Acuicultura: Principales conceptos y definiciones*. Excerpted from 5th edition of the APA Publication Manual. 2003. URL: <https://www.fao.org/3/x6941e/x6941e04.htm>.
- [2] Mohammadmehdi Saberioon y col. «Application of machine vision systems in aquaculture with emphasis on fish: state-of-the-art and key issues». En: *Reviews in Aquaculture* 9.4 (2017), págs. 369-387.
- [3] Leonardo Mereles. *Preprocesamiento de imágenes digitales a través de su Transformada de Fourier*. 2012.
- [4] Ramirez Q Juan y Chacón M Mario. «Redes neuronales artificiales para el procesamiento de imágenes, una revisión de la última década». En: *RIEE&C, Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación* 9.1 (2011), págs. 7-16.
- [5] Damián A Álvarez, Germán A Holguín y Marta L Guevara. «Preprocesamiento de imágenes aplicadas a mamografías digitales». En: *Scientia et Technica* 12.31 (2006), págs. 1-6.
- [6] Miguel Vera y col. «Técnicas de preprocesamiento de imágenes cardíacas: fundamentos y alcance». En: *Revista Latinoamericana de Hipertensión* 11.3 (2016), págs. 60-66.
- [7] José F Valencia-Murillo, Daniel A Poveda-Sendales y Daniel F Valencia-Vargas. «Evaluación del impacto del preprocesamiento de imágenes en la segmentación del iris». En: *TecnoLógicas* 17.33 (2014), págs. 31-41.
- [8] Thomas Bräunl y col. *Parallel image processing*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [9] Erik Smistad y col. «Medical image segmentation on GPUs—A comprehensive review». En: *Medical image analysis* 20.1 (2015), págs. 1-18.
- [10] PN Happ y col. «Multiresolution segmentation: a parallel approach for high resolution image segmentation in multicore architectures». En: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38.4 (2010), pág. C7.
- [11] Dave Kuhlman. *A python book: Beginning python, advanced python, and python exercises*. Dave Kuhlman Lutz, 2009.
- [12] Sebastian Raschka y Vahid Mirjalili. *Python machine learning: Machine learning and deep learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow 2*. Packt Publishing Ltd, 2019.
- [13] V Arévalo, J González y G Ambrosio. «La librería de visión artificial opencv. aplicación a la docencia e investigación». En: *Base Informática* 40 (2004), págs. 61-66.
- [14] Marcelo Naiouf. «Procesamiento paralelo». Tesis doct. Universidad Nacional de La Plata, 2004.

Electronic design of the early warning system for monitoring and detection of floods

Diseño electrónico del sistema de alerta temprana para monitoreo y detección de inundaciones

Raúl U. Rentería Flores¹, Raúl T. Aquino Santos^{*1}, Omar Alvarez Cardenas¹, Ismael Amezcua Valdovinos¹, Victor Rangel Licea¹, and Margarita Glenda Mayoral Baldivia¹

¹ Universidad de Colima (UCOL), Facultad de Telemática,
Avenida. Universidad No. 333, Col. Las Víboras, Colima, Col. México, 28040
{rrenteria5, aquino, xe1aom, ismaelamezcua, mglenda}@ucol.mx, vrangelicea@gmail.com

Abstract

Floods are one of the most severe natural disasters that humans face regarding casualties in terms of victims, infrastructure damage, economic losses, and long-term effects, often with very adverse social consequences. Flash floods are hazardous because they often carry little or no warning of impending disaster. This project addresses one of the great challenges facing population centers in the context of climate change: flash floods. As a consequence, it is proposed to develop an electronic prototype oriented to the Internet of Things (IoT), which integrates an early warning system, notifications and real-time monitoring of areas at risk of flooding.

Keywords— Flash floods, Internet Of Things, LTE.

Resumen

Las inundaciones son uno de los desastres naturales más graves a los que se enfrentan los seres humanos en términos de víctimas, daños a la infraestructura, pérdidas económicas y efectos a largo plazo, que a menudo tienen consecuencias sociales muy adversas. Las inundaciones repentinas son particularmente peligrosas porque a menudo tienen poca o ninguna advertencia del desastre inminente. El proyecto propuesto aborda uno de los grandes retos que enfrentan los centros de población en el contexto del cambio climático: las inundaciones repentinas. Como consecuencia de ello, se plantea

desarrollar un prototipo electrónico orientado al Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), que integre un sistema de alerta temprana, notificaciones y monitoreo en tiempo real de las zonas en riesgo de inundación.

Palabras clave— Inundaciones, Internet de las Cosas, LTE.

I. Introducción

Un desastre es un evento destructivo que afecta significativamente a la población, en su vida o en sus fuentes de sustento y funcionamiento. En las últimas décadas, los fenómenos naturales en México han dejado daños con un costo promedio anual de 100 vidas humanas y cerca de 9,500 millones de pesos [1].

Es por ello por lo que el tema de la prevención y atención de desastres ha tomado relevancia en la agenda de protección civil, reconociendo que es indispensable establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos y no solo prestar atención a las emergencias y desastres.

Sin duda, se ha avanzado en este sentido en los últimos años, sin embargo, son aún insuficientes los logros en la materia y es indispensable invertir más esfuerzo y recursos para transitar lo más pronto posible de un esquema fundamentalmente reactivo a uno de carácter preventivo.

La ubicación del país en una región intertropical lo hace sujeto a los embates de huracanes que se generan tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico. Las lluvias intensas que estos fenómenos originan pueden causar inundaciones y deslaves no sólo en las costas sino también en el interior del territorio.

De los 25 ciclones que en promedio llegan cada año a los océanos cercanos al país, cuatro o cinco suelen

* Autor de correspondencia

penetrar en el territorio y causar daños severos, de hecho, en los años 2008-2017 las personas afectadas fueron alrededor de 73.1 millones, en contraste con el año 2018 la cifra fue de 34.2 millones de personas [2].

El proyecto propuesto ofrece una solución que integra un sistema de alerta temprana con un microcontrolador, sensor ultrasónico y de humedad del suelo, se incluyen notificaciones y monitoreo en tiempo real de las zonas en riesgo de inundación.

El poder disponer de este tipo de plataformas, junto a los pronósticos hidrológicos, ayuda a las comunidades, tomadores de decisiones, funcionarios de gobierno a identificar las zonas de amenaza con mayor probabilidad de una inundación.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II se muestra el estado del arte, donde se mencionan algunos trabajos previos, productos y patentes relacionados con el proyecto. En la Sección III se detalla las herramientas necesarias para su implementación del trabajo tanto en software como en hardware. En la Sección IV se describen los pasos a realizar para conseguir los resultados deseados de una manera eficaz. En la Sección V se muestran trabajos previos realizados en este proyecto y en la Sección VI se muestran los resultados obtenidos y las conclusiones de las pruebas realizadas.

II. Estado del Arte

II.1. Trabajos Relacionados

Así como en el proyecto propuesto, otros investigadores han desarrollado sistemas, investigaciones y productos para poder medir algún cuerpo de agua y transmitirlo de manera inalámbrica a algún punto de control. Para poder tener una idea general de lo que se requiere, se realizó una investigación de trabajos realizados anteriormente, haciendo una comparación con respecto al proyecto planteado.

Por parte de las patentes se puede observar el uso de sensores de nivel [3], sensores ultrasónicos [4], incluso cámaras de reconocimiento [5]. También en cuanto a microprocesadores algunos usan Raspberry o Arduino.

En la búsqueda de patentes se puede observar que existen muchas maneras de abordar el objetivo general del proyecto sobre la medición en tiempo real de un cuerpo de agua, pero la mayoría de estas patentes están basadas en prototipos básicos y con poca fiabilidad o conectados a un sistema de alimentación básico, en cambio, el proyecto propuesto es autosustentable y tiene hardware de uso industrial para poder usar sensores de mayor precisión.

En la Tabla 1 se muestra un concentrado de las patentes más similares al proyecto propuesto.

En cuanto a los artículos se puede observar que existen varios trabajos para la medición de nivel y alerta de un cuerpo de agua y los realizan de diversas maneras, unos

usan redes neuronales (ANN, por sus siglas en inglés), el cuál es un método de inteligencia artificial para diseñar algoritmos de predicción, monitorear la humedad, nivel de agua, etc., [6]. En otro estudio usaron un detector de voltaje con un microcontrolador MC68HC11 y un sensor LiDAR (siglas en inglés de Light Detection and Ranging) [7], también se usa un acelerómetro para monitorear la velocidad del río acoplado con un sonar en UAV (siglas en inglés de Unmanned Aerial Vehicle) para tomar videos de los ríos [8]. En otros incorporan un ESP32, GSM (siglas en inglés de Global System for mobile communications) [9], y en otro artículo implementan un sensor ultrasónico en la ciudad de Japón [10].

En la Tabla 2 se anexa un concentrado de estos y otros artículos con algún aporte para nuestro proyecto.

Además, se puede identificar que ya existen soluciones comerciales para el monitoreo del nivel de agua, aunque la mayoría de ellos brindan información sobre algunos parámetros específicos, son más robustos que los sensores de nivel laboratorio, estos sensores tienen la desventaja de que son muy costosos.

Además de que no están comercialmente disponibles en México, por lo que se tienen que importar, un ejemplo es el producto frondiast [11], esta boya contiene sensores para la medición de nivel, sensores de clima, dataloggers, etc. Pero su costo es de 6,500 Euros, esto sin incluir el costo de importación.

II.2. Arquitectura de Hardware

Sensores para la detección del flujo de agua

Los dispositivos electrónicos que se utilizan para determinar el flujo de agua llegan a medir diversas variables como pueden ser: velocidad, caudal, profundidad, etc. En este artículo nos enfocaremos en algunas de ellas:

- Velocidad media del flujo.
- Velocidad superficial.
- Profundidad.
- Vibración del suelo.

Para el desarrollo de este proyecto, se propone una combinación de estos sensores para medir las variables necesarias para predecir inundaciones y flujos de agua, enviando los datos analógicos y digitales en tiempo real a través de la red celular 4G (cuarta generación de tecnología de redes móviles), a una plataforma para poder observar y predecir una inundación.

Sensores de distancia y mapeo de superficies

Los sensores de distancia se usan para monitorear la superficie terrestre, en el siguiente estudio se puede observar diversas maneras de abordar ello, una de ellas con

Tabla 1: Patentes relacionadas al proyecto propuesto

Patente	Recolección	Procesamiento	Lenguaje
[3]	Cámara CCVT	Procesamiento de imágenes	C
[4]	Sensor de nivel, lluvia y ubicación GPS	Aprendizaje automático	Python
[5]	Barra de Nivel	Medición	Centro de control
[6]	Sensor humedad del suelo	Temperatura + nivel	Predicción

Tabla 2: Artículos relacionados al proyecto propuesto

Artículo	Análisis	Procesamiento	Almacenamiento	Tiempo de alerta
[7]	Sensores de temperatura	Redes Neuronales	Servidor en la nube	Segundos
[8]	Sensor LiDAR	Aprendizaje automático	Servidor en la nube	Local
[9]	Acelerómetro, sonar	Velocidad del agua	Imágenes	Segundos
[10]	Sensor ultrasónico y temperatura	ESP32	Arduino	Alarma SMS
[11]	Sensor ultrasónico	EnOcean	Servidor	No tiene

un sensor de distancia [12]. Esto se llega a obtener midiendo la distancia entre una fuente y su objetivo usando ondas ultrasónicas, mediante un cabezal que emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto.

Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción. Estos sensores pueden generar una matriz tridimensional midiendo puntos específicos de una superficie definida y variando el ángulo de estas mediciones. Debido a esto es posible detectar el crecimiento del nivel de agua y también determinar variaciones en el volumen del flujo.

En el proyecto propuesto se va a medir el aumento del nivel de agua en tiempo real, una manera de realizarlo es usando un sensor ultrasónico para hacer proyecciones más precisas de las inundaciones a lo largo del tiempo.

Redes de sensores en tiempo real para adquisición de datos

Las aplicaciones para el monitoreo hidrológico utilizan redes de sensores para la adquisición de datos en tiempo real con diferentes dispositivos electrónicos y sensores para poder recopilar información de predicción de inundaciones más confiables junto con un sistema de advertencia de ello.

En el trabajo reportado en [13], los autores desarrollan un dispositivo que utiliza diferentes protocolos de comunicación para interactuar con los sensores, como son el SDI-12 o RS-485 y varias entradas analógicas. El dispositivo está basado en una unidad de procesamiento que es un microcontrolador de 8 bits PIC18F8722.

El proyecto propuesto utiliza un diseño bajo una arquitectura de 32 bits, el cual permite a los usuarios conectarse a una amplia variedad de sensores con diferentes

protocolos que se describen en la Sección V.

Tecnologías IoT

Existen muchas tecnologías en estos días que se pueden utilizar para interconectar dispositivos y se puedan enviar los datos recopilados a Internet. La tecnología WWAN (siglas en inglés de Wireless Wide Area Network), también llamada de banda ancha móvil, proporciona acceso a Internet a través de una red de telefonía móvil y está dividida en celular y en LPWAN (siglas en inglés de Low Power Wide Area Networks).

Protocolos de comunicación

Existe una diversidad de protocolos de comunicación para conectar sensores, entre los más comunes se encuentran: I2C (siglas en inglés de Inter-Integrated Circuit), el cual es un protocolo de dos líneas SCL (siglas en inglés de System Clock) y SDA (siglas en inglés de System Data) y permite conectar hasta 180 diferentes dispositivos [14]. RS-232, este protocolo tiene algunas limitaciones como puede ser la falta de canales de transmisión [15], y su versión más común es de 9 pines (DB-9).

El protocolo SDI-12 es un protocolo de comunicaciones en serie asíncrono para sensores inteligentes que monitorean datos ambientales, estos suelen ser de bajo consumo, se tiene el protocolo SPI (siglas en inglés de Serial Peripheral Interface), el cual es usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados o dispositivos periféricos, y el protocolo UART (siglas en inglés de Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), el cual permite una comunicación sencilla al conectar dos dispositivos y solamente requiere dos señales TX (Transmisión) y RX (Recepción).

En la Tabla 3 se muestra una tabla comparativa de estos protocolos.

Análisis de protocolos de transmisión inalámbrica

Se realizó una comparación entre los protocolos que pueden ser compatibles con el diseño electrónico de comunicaciones, para este propósito se necesita que los módulos de comunicación tengan el protocolo de comunicación UART, además de que sean compatibles con el socket tipo XBEE. En la Tabla 4 se detallan algunos tipos de comunicaciones que cumplen con estas características.

También se realizó un estudio de modelos de propagación para estos protocolos de transmisión inalámbrica, en la Tabla 5 se muestra el estudio realizado.

III. Herramientas de Software y Plataforma de Hardware

III.1. Altium designer

Altium designer es un paquete de software de automatización para diseño electrónico y PCB (siglas en inglés de Printed Circuit Board) para placas de circuito impreso. Puede realizar todo tipo de procesamiento de señales, entre ellos: filtros, codificadores de canal, demoduladores, decodificadores y muchos otros elementos de procesamiento de señales representados en forma de bloques.

La característica más importante es la manera de interconectar estos bloques entre sí a través de diagramas, ofrece un entorno de diseño unificado, desde el diseño esquemático hasta el diseño del PCB y la documentación del diseño.

III.2. Maquinaria LPKF (PCB prototype technology/laser material processing)

ProtoMat S63

El ProtoMat S63 domina el procesado de material en 2.5 dimensiones y posee velocidad de 60,000 rev/min. Esta maquinaria cuenta con cambio automático de herramientas, cámara de reconocimiento fiducial, puede hacer circuitos multicapa de 4, 6 u 8 capas siempre en conjunto con los sistemas LPKF multipress y LPKF contact S4. Esta maquinaria va incluida con un software suministrado por la empresa, denominado CircuitPro, el cual simplifica el proceso de realización del PCB.

IV. Metodología

La parte del desarrollo del diseño electrónico está compuesta por 4 etapas:

1. Diseño: mediante el software de diseño (Altium Designer), se hace el proceso para diseñar circuitos impresos combinando la colocación y el enrutamiento de componentes para definir la conectividad eléctrica dentro de un circuito impreso fabricado.
2. Fabricación: una vez realizado el diseño de la conectividad eléctrica y el diseño 3D de la tarjeta PCB, se procede a la fabricación de las tarjetas de manera física, a la colocación de las vías y de las líneas de conectividad eléctrica.
3. Soldado de componentes electrónicos: teniendo la tarjeta PCB, se procederá a realizar lo que es el soldado de los componentes necesarios para el funcionamiento de la tarjeta.
4. Pruebas de funcionamiento: después de soldados los componentes, se procederá a realizar la prueba de funcionamiento de estos, la prueba de funcionamiento puede constar de varias maneras, una de ellas puede ser de manera visual, verificando que se vean bien soldados los componentes y de manera electrónica, la cual es verificando que lleguen las señales o voltajes adecuados a cada componente.

V. Trabajo Realizado

V.1. Diseño electrónico tarjeta de potencia

En la parte del diseño electrónico se seleccionaron tres dispositivos de diferentes salidas de voltaje, 12V al sensor ultrasónico, 3.3V para el módulo LTE (siglas en inglés de Long Term Evolution) y 5V para el microcontrolador y los sensores analógicos y digitales que se deseen conectar.

Convertidor aislador de CC/CC de 3.3V

En el proyecto propuesto se seleccionó un dispositivo "THD 15-1210N" debido a que este tiene la capacidad de soportar voltajes de entrada de 9V – 18V, lo cual es idóneo para los voltajes que suministra la batería "UPS12-210MR" de 12V y nos entrega un voltaje de salida de 3.3V. Además, fue adaptado un diodo de estado.

Convertidor aislador de CC/CC de 5V

En el proyecto propuesto se seleccionó un dispositivo "TEL8-1211" debido a que este tiene la capacidad de soportar voltajes de 9V – 18V, lo cual es idóneo para los voltajes que suministra la batería "UPS12-210MR" de 12V y nos llega a entregar un voltaje de 5V. Además, fue adaptado un diodo indicador de estado.

Tabla 3: Protocolos de comunicación

Protocolo	UART	I2C	SPI
Complejidad	Sencillo	Fácil encadenamiento de dispositivos	Complejo
Velocidad	Lento	Más rápido que UART	El más rápido
Número de dispositivos	2	Hasta 180	Múltiples, pero se vuelve complejo
Dúplex	Completo	Medio	Completo

Tabla 4: Protocolos de comunicación inalámbrica

Protocolo	Potencia	Frecuencia	SOM	Sensibilidad de recepción
SigFox	14 dBm	868 MHz	48.83 dBm	-126 dBm
LoRa	18.5 dBm	863-870 MHz Europa 902-928 MHz USA	72.74 dBm	-146 dBm
Lte-Cat1	23 dBm	19000 MHz	27.03 dBm	-102 dBm

Convertidor aislador de CC/CC de 12V

Para el desarrollo del presente proyecto, se eligió el dispositivo “UHE-12/2500-D12-C” ya que este es capaz de funcionar con rangos desde los 9V hasta los 18V, los cuales son proporcionados por la batería “UPS12-210MR” de 12V con un voltaje de salida regulado de 12V. También se agregó un diodo que indica el estado de trabajo de esta.

En la Figura 1 se muestra un diagrama a bloques de la etapa de potencia.

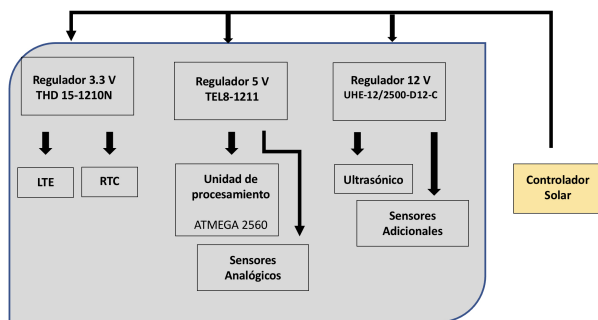


Figura 1: Etapa de potencia

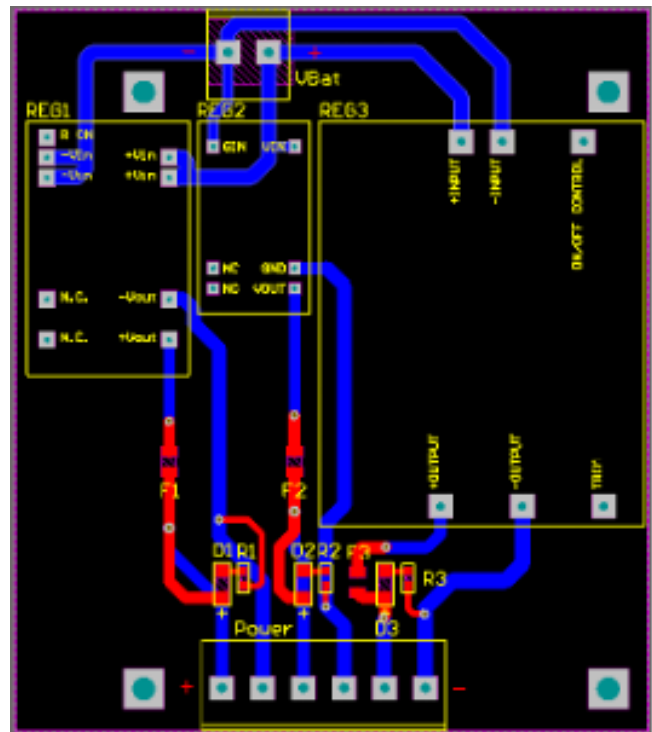


Figura 2: PCB de la etapa de potencia

En la Figura 2 se observa un recorte de la placa de potencia desarrollado en el software Altium designer.

V.2. Diseño electrónico tarjeta de procesamiento

El sistema embebido que integra la tarjeta de procesamiento está compuesto por el módulo de comunicación inalámbrica, módulo de procesamiento y módulo de sensores. El módulo de comunicación inalámbrico para esta prueba fue el SIM5320, también se cuenta con un socket tipo XBee en donde se conecta el módulo LTE.

El módulo de procesamiento es un ATMEGA2560 el cual es el encargado de procesar todas las tareas.

El dispositivo desarrollado emplea un sensor de nivel de agua ultrasónico. Además, para esta propuesta agregamos un sensor de temperatura ambiental y un sensor de humedad relativa, los cuales están conectados al microcontrolador para enviar los datos periódicamente mediante el protocolo de mensajería MQTT (siglas en inglés de Message Queuing Telemetry Transport), a través de Internet, a un servidor de adquisición de datos.

En la Figura 3 se muestra un diagrama con los com-

Tabla 5: Modelos de propagación

Protocolo	Mhz	Rs (dBm)	Pt (dBm)	Distancia Max	Distancia Min	SOM
AT86RF212B	769 A 935	-110	10	25.67 km	1 km	28.19 dB
RN2903 LoRa	902 A 928	-146	18.5	20 km	1 km	72.74 dB
Xbee Pro XSC S3B	902 A 928	-110	24	129.56 km	1 km	42.25 dB
LTE CAT 1	1900	-102	23	22.46 km	1 km	27.03 dB
SigFox	868	-126	14	276.37 km	1 km	48.83 dB

ponentes que contiene nuestro prototipo en la parte de comunicación y procesamiento.

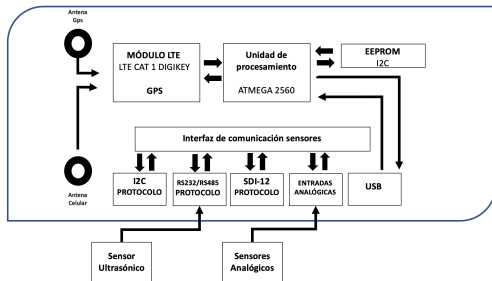


Figura 3: Etapa de procesamiento

En la Figura 4 se muestra el 3D de nuestro prototipo en la parte de comunicación y procesamiento.

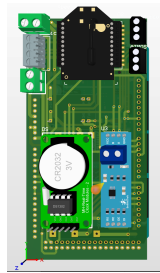


Figura 4: 3D Tarjeta de procesamiento y comunicación

El procedimiento para poder realizar el sistema embebido para la toma de muestras, almacenamiento y el envío de la información es primero conectarse a la fuente de alimentación o de potencia, en ese momento se inicia lo que es la configuración de los sensores y una vez realizado este procedimiento se manda toda la información recopilada a través de nuestro módulo de comunicación inalámbrica.

En la Figura 5 se observa nuestra tarjeta de procesamiento en funcionamiento.

En las figuras 6, 7 y 8 se muestran los datos recolectados cada segundo durante 24 horas, comenzando desde las 8 a.m. y terminando a las 8 p.m. sobre un lugar controlado.

En la Figura 6 se puede observar los datos recopilados midiendo la profundidad en cm. La Figura 7 muestra



Figura 5: Hardware

la variación de la temperatura durante este periodo de medición, en la Figura 8 se muestra un gráfico el cual informa el porcentaje de la humedad relativa durante este periodo de medición.

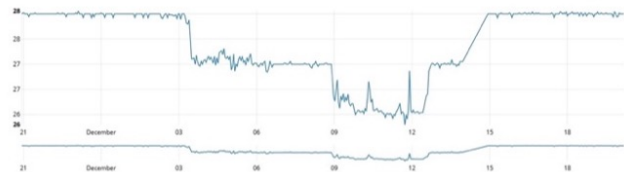


Figura 6: Medición de la profundidad del agua durante 24 horas

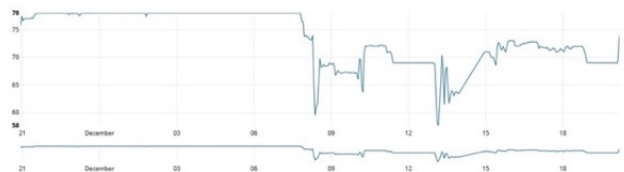


Figura 7: Temperatura ambiental durante 24 horas

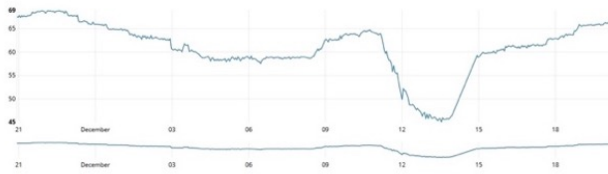


Figura 8: Humedad relativa durante 24 horas

VI. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la implementación del hardware han sido satisfactorios, aún falta trabajo para realizar, se tiene que implementar el nuevo diseño en un ambiente real para probar la comunicación inalámbrica, la fiabilidad de los sensores y la etapa de alimentación.

Dado los resultados obtenidos se puede concluir que la tarjeta de procesamiento, junto con los sensores y la etapa de potencia, ha funcionado de una manera correcta en un ambiente controlado.

Para este proyecto propuesto aún se continúa trabajando en la elaboración de una implementación de inteligencia artificial para la predicción de inundaciones. Además de seguir trabajando en las actualizaciones de los protocolos de comunicación inalámbrica, próximamente 5G (quinta generación de redes móviles).

Agradecimientos

Gracias al Programa Nacional de Posgrados de Calidad CONACYT por el apoyo económico utilizado en parte para la realización de los experimentos y un agradecimiento especial a todos los involucrados directamente en el proyecto.

Referencias

- [1] Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. Secretaría de Gobernación. Sistema Nacional de Protección Civil. *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México : atlas nacional de riesgos de la República Mexicana*. Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2001. ISBN: 9706285938.
- [2] UCLouvain. *Natural Disasters 2018*. 2. UCLouvain, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters CRED, USAID., 2019.
- [3] Christian Claudel. *Patent US 9047775*. 3. KING ABDULLAH UNIVERSITY OF SCIENCE y TECHNOLOGY, 2012.
- [4] Edward B. Panganiban y Jennifer C. Dela Cruz. «Rain water level information with flood warning system using flat clustering predictive technique». En: vol. 2017-December. Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., dic. de 2017, págs. 727-732. ISBN: 9781509011339. DOI: 10.1109/TENCON.2017.8227956.
- [5] Paschalis Koutalakis y George N. Zaimis. «River Flow Measurements Utilizing UAV-Based Surface Velocimetry and Bathymetry Coupled with Sonar». En: *Hydrology* 9 (8 ago. de 2022), pág. 148. ISSN: 2306-5338. DOI: 10.3390/hydrology9080148. URL: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/8/148>.
- [6] Swapnil Bande y Virendra V Shete. *Smart flood disaster prediction system using IoT Neural Networks*. 2017. ISBN: 9781538605691.
- [7] Nor Anum Zuraimi Md Noar y Mahanijah Md Kamal. «The development of smart flood monitoring system using ultrasonic sensor with blynk applications». En: 2017, págs. 1-6. DOI: 10.1109/ICSIMA.2017.8312009.
- [8] Paschalis Koutalakis y George N. Zaimis. «River Flow Measurements Utilizing UAV-Based Surface Velocimetry and Bathymetry Coupled with Sonar». En: *Hydrology* 9 (8 ago. de 2022), pág. 148. ISSN: 2306-5338. DOI: 10.3390/hydrology9080148. URL: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/8/148>.
- [9] Shiva Shankar et al. «Early Detection of Flood Monitoring and Alerting System to Save Human Lives». En: Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., nov. de 2020, págs. 353-357. ISBN: 9781728197722. DOI: 10.1109/RTEICT49044.2020.9315556.
- [10] Dalibor Purkovic et al. *Smart river monitoring and early flood detection system in Japan developed with the EnOcean long range sensor technology; Smart river monitoring and early flood detection system in Japan developed with the EnOcean long range sensor technology*. 2019.
- [11] Frondiest. *Frondiest CB-450 DATA BUOY*. 2022. URL: <https://www.fondriest.com/nexsens-cb-450-data-buoy.htm>.
- [12] J Teng et al. «Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis». En: *Environmental Modelling Software* 90 (2017), págs. 201-216. ISSN: 1364-8152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815216310040>.

- [13] Rafael Marin-Perez, Javier García-Pintado y Antonio Skarmeta Gómez. «A real-time measurement system for long-life flood monitoring and warning applications». En: *Sensors* 12 (4 abr. de 2012), págs. 4213-4236. ISSN: 14248220. DOI: 10.3390/s120404213.
- [14] Mathivanan. «N. PC-based instrumentation: concepts and practice». En: (2007).
- [15] Jonathan R. Wolpaw. «Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice». En: (2012).

Integration of a 3D scanner with ultrasonic sensors and a mobile application for visualization of three-dimensional models

Integración de un escáner 3D con sensores ultrasónicos y una aplicación móvil para visualización de modelos tridimensionales

Axel Issai Alemán-Delgado¹, Isaac De Jesús Becerra-Martínez¹, Karen Lizeth García-Rivera¹, Daniela Estefanía Huerta-Vázquez¹, Didre Dayan Mota-González¹, Carlos Alejandro Reyes-Puga¹, and Marco Aurelio Nuño-Maganda^{*1}

¹Universidad Politécnica de Victoria (UPV), Ingeniería en Tecnologías de la Información,
Av. Nuevas Tecnologías 5902, Parque Científico y Tecnológico de Tamaulipas, 87138 Cd Victoria, Tamps.
{1930204, 1930062, 1930468, 1930474, 1830419, 1930033, mnunom}@upv.edu.mx

Abstract

3D printing is a recent process that has revolutionized different areas of everyday life. Tasks traditionally performed by computers are available on smartphones. In this article, we propose a mobile application with a Bluetooth interface that allows obtaining a three-dimensional model of a 3D scanner made with common elements, such as an AT-Mega 2560 and the HC-SR04 ultrasonic sensor, in addition to the motors required for the movement of the rotating base and the ultrasonic sensor. The application allows to the user to visualize the model through the OpenGL ES library, and to control the scanning process. We report a working prototype that allows to the user to generate and visualize 3D models of simple objects.

Keywords— Mobile App, OpenGL ES, Tridimensional Scanner

Resumen

La impresión 3D es un proceso reciente que ha revolucionado diferentes ámbitos de la vida cotidiana. El teléfono inteligente es una herramienta común en estos días, y muchas de las tareas que se llevaban a cabo en una computadora ahora es posible llevarla a cabo en este dispositivo. En este artículo, proponemos una aplicación móvil que mediante comunicación serial utilizando una interfaz Bluetooth, permita

obtener el modelo tridimensional de un escáner 3D hecho con elementos comunes, como son un microcontrolador AT-Mega 2560 integrado en Arduino UNO y el sensor ultrasónico HC-SR04, además de los motores requeridos para el movimiento de la base giratoria y del sensor ultrasónico. La aplicación permite al usuario visualizar el modelo, mediante el uso de la librería OpenGL ES, además de controlar los detalles del proceso de escaneo. Se reporta un prototipo funcional que permite al usuario generar y visualizar modelos 3D de objetos simples.

Palabras clave— Aplicación Móvil, OpenGL ES, Escáner tridimensional

I. Introducción

La digitalización de objetos es posible gracias al escaneo 3D debido a su gran utilidad y precisión, ha revolucionado diversos sectores industriales, educativos, de construcción y de manufactura.

Este proyecto surgió de la necesidad de replicar un objeto complejo en dimensiones más grandes a las originales. Debido a que obtenerlas físicamente tenía una gran complejidad, se realizó este escáner 3D.

Un escáner 3D [1] es un dispositivo de imagen que recoge medidas de puntos de distancia de un objeto del mundo real y las traduce en un objeto 3D virtual. Los escáneres 3D son utilizados para crear imágenes y animaciones realistas, e incluso llegar a recrear objetos físicos

* Autor de correspondencia

mediante los datos obtenidos.

En el presente artículo se muestran los resultados de implementar un escáner 3D utilizando componentes de bajo costo, el cual tiene la capacidad de escanear cualquier objeto y proporcionar sus coordenadas cartesianas en los ejes X, Y y Z.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II se realiza una comparación de aplicaciones existentes que tienen funciones similares a la que se hace referencia en este artículo. En la Sección III se explica a detalle lo que es el sistema propuesto, se describe el hardware y software utilizados en la implementación del proyecto así como el proceso de creación de este. Finalmente, en las Secciones IV y V se muestran los resultados obtenidos y las conclusiones de las pruebas realizadas.

II. Revisión de la literatura

En esta sección revisaremos algunos de los sistemas de escaneo de objetos 3D que emplean componentes de bajo costo, de código abierto y que generalmente incluyen instrucciones de armado relativamente sencillas para que cualquier usuario pueda poner a funcionar dicha aplicación.

II.1. AAScan

El proyecto AAScan [2] es una propuesta de escaner que tiene como plataforma de captura de imágenes de entrada a un teléfono inteligente, como plataforma de procesamiento a una computadora que ejecuta un script en Python utilizando QPython, además del uso de un Arduino para el control de los motores de la plataforma. También requiere de una computadora con un GPU Nvidia. El proyecto incluye una lista de componentes en donde todos son de bajo costo si se excluye la computadora con tarjeta gráfica Nvidia. En la Figura 1 se muestran los componentes de este sistema.

II.2. FabScan

El proyecto FabScan [3] es un escáner láser 3D que requiere de una computadora Raspberry Pi y un módulo de cámara Raspberry Pi para la adquisición de las imágenes requeridas para el escaneo 3D. Otros componentes de este sistema son los motores a paso, un cubo de montaje y otros componentes electrónicos requeridos para la base de escaneo. En la Figura 2, se muestran los componentes del proyecto.

II.3. DIY Standalone 3D Scanner

El DIY Standalone 3D Scanner permite que al combinar una placa Mbed con una cámara y bibliotecas OpenCV, el proceso de escaneo se automatiza en gran medida

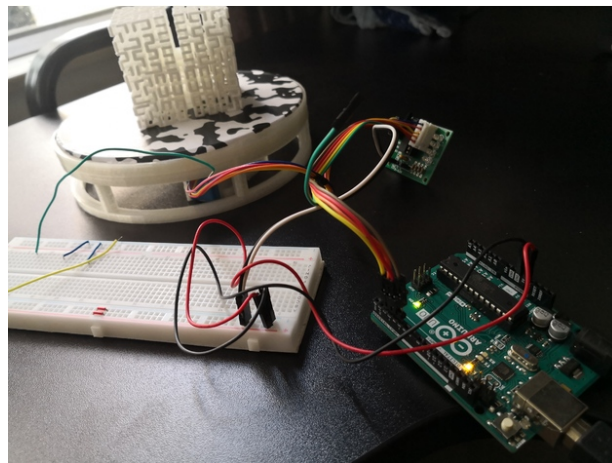


Figura 1: Componentes utilizados para el proyecto AAScan [2]



Figura 2: Material necesario para FabScan [3]

con solo presionar un botón. El escáner captura múltiples imágenes de un objeto para crear un modelo 3D que luego se envía como un archivo STL escrito en una tarjeta SD. Su unidad de control está basada en un dispositivo GR-LYCHEE, además de piezas electrónicas más pequeñas, láminas de plástico para crear la carcasa y varias tuercas y cableado para ensamblarlo todo [4].

II.4. OpenScan

El proyecto OpenScan [5] es un escáner que permite a partir de fotografías desde diferentes ángulos o de un video capturado en vivo, generar un modelo 3D que puede ser editado y modificado para propósitos de impresión en 3D. El proyecto tiene la flexibilidad en cuanto a la unidad de control, que puede ser un dispositivo Arduino o Raspberry Pi, la cual puede ser controlada a distancia mediante comunicación Bluetooth usando un teléfono inteligente.

II.5. Silhouette standalone 3D scanner

Este escáner 3D se basa en la placa y la cámara de prototipos GR-Lychee y utiliza un algoritmo que analiza siluetas para obtener un modelo 3D. La idea detrás de este algoritmo es tomar fotografías de la silueta de un objeto desde varios ángulos. Luego, las fotos se convierten en datos de nubes de puntos que representan la forma 3D escaneada. Finalmente, se crea una malla poligonal a partir de esos datos y se guarda en una tarjeta SD como un archivo STL [4]. El sistema arroja como resultado final un modelo 3D con una resolución de escaneo de un milímetro, listo para ser utilizado con cualquier dispositivo de impresión 3D. Para su construcción se requiere un tablero GR-Lychee y algunas láminas de plástico.

La principal desventaja que se desea atacar es substituir con un sensor ultrasónico aquellos sistemas que hagan uso de una cámara, debido a que este sensor podría proveer información mucho más precisa de las dimensiones del objeto en comparación con una cámara. La aportación de este proyecto consiste en agregar una aplicación móvil que permita al usuario llevar a cabo el escaneo tridimensional de un objeto simple sin requerir de una computadora.

III. Sistema Propuesto

III.1. Aplicación móvil

En este proyecto se siguió el paradigma de prototipado propuesto por Pressmann [6]. La creación de prototipos es un enfoque de desarrollo de software en el que la parte interesada (en este caso, específicamente los usuarios, que son los estudiantes usuarios de dicha aplicación) define los objetivos generales para el proyecto, pero no clasifica a fondo los requisitos para los detalles. Esto llevará a los desarrolladores (el equipo de estudiantes que implementaron tanto la aplicación móvil como el prototipo del escáner) a utilizar el paradigma de la creación de prototipos, en el que el prototipo inicial se presenta a las partes interesadas. Así las partes interesadas pueden comentar si el proyecto se ajusta a sus necesidades o no.

Android es un sistema operativo móvil diseñado para su uso en teléfonos y tabletas inteligentes [7]. De manera que dentro de este sistema operativo pueden ejecutarse aplicaciones móviles nativas, permitiendo un alto rendimiento y una experiencia de interfaz de usuario del dispositivo [8].

Para el desarrollo de aplicaciones específicas para el entorno Android, existen diferentes lenguajes de programación que son empleados para la construcción de dichas aplicaciones, como lo son Java y Kotlin [9, 10], así como entornos de desarrollo (IDE, por sus siglas en inglés) que proveen herramientas para la generación de aplicaciones, realizando un compilado rápido y unificado para Android

[11].

Debido a ello, la configuración del ambiente de desarrollo de la aplicación móvil propuesta fue considerando los siguientes aspectos técnicos:

- Codificación en el lenguaje de programación Java.
- Versión de Android SDK mínima: 21 Lollipop (Android 5.0).
- IDE Android Studio versión Bumblebee 2021.1.1.
- Dispositivos para la ejecución de pruebas técnicas Huawei P30 Pro, Oppo A53 y Xiaomi Poco F2 Pro.
- Librería OpenGL ES 2.0 para gráficos de alto rendimiento.

Diseño de aplicación

En la elaboración de la aplicación móvil se contemplan dos módulos que permiten el funcionamiento de la aplicación para la conexión y recepción de los datos del escáner desarrollado, así como el modelado de los datos recibidos. Los módulos se describen a continuación:

- **Módulo de conexión con escáner 3D:** En este apartado se realiza la configuración previa a la recepción de los datos por parte del escáner propuesto, de manera que se realiza la visualización de los dispositivos cercanos disponibles para su conexión por medio de Bluetooth. Permitiendo la selección de un dispositivo que funcionará como receptor de datos periódicamente.
- **Módulo de visualización de datos:** Se posibilita la generación de un modelo 3D con los datos recibidos del dispositivo remoto previamente configurado, para ello se puede autorizar el inicio del modelado para iniciar el proceso de recepción de los datos y su muestreo en tiempo real de manera gráfica.



Figura 3: Proceso de inicio de conexión P2P Bluetooth con dispositivo y recepción de los datos

Transferencia de información por Bluetooth entre placa Arduino y dispositivo Android

Para la conexión de manera remota con el escáner 3D, se implementa la API de Bluetooth de Android [12].

Estableciendo la búsqueda de dispositivos para realizar la conexión P2P (siglas en inglés de *Peer to Peer*) bajo el protocolo RFCOMM y el recibimiento de los datos entre los dispositivos [13].

Del mismo modo, se emplea el siguiente diagrama de flujo en la Figura 3 donde se muestra el proceso de comunicación para la conexión de la aplicación móvil con el escáner 3D y la recepción de los datos.

Generación de modelo 3D

Para la implementación de un modelo 3D de datos en Android se utilizó el motor de gráficos integrados OpenGL ES, con el objetivo de realizar la visualización de los datos de manera nativa en el dispositivo, empleando la API proporcionada por Android [14].

En la elaboración del modelo 3D se contemplan las coordenadas de plano cartesiano en tres dimensiones, como lo son los ejes X, Y, Z [15]. Permitiendo la representación de puntos mediante un conjunto de valores que posibilitan la construcción de una figura tridimensional y los puntos que la conforman.

Para ello, se realiza la recepción activa con el dispositivo conectado por medio de Bluetooth de los datos que representan las coordenadas del punto a graficar considerando los ejes de coordenadas mencionados, realizando la actualización de la figura en tiempo real conforme los datos sean recibidos.

Eliminación de ruido del modelo generado

Conforme los datos son recibidos por el controlador AT-Mega 2650 y el sensor ultrasónico RS04, se observó que las coordenadas del objeto escaneado necesitan ser escaladas al rango permitido por OpenGL para la construcción de modelos, los cuales son mostrados en la Tabla 1 con su respectivo eje.

Con respecto a la reducción de ruido de los datos provenientes del sensor ultrasónico, se utilizó una técnica básica que consiste estimar un valor promedio de las lecturas para minimizar el error de falsos valores entre las lecturas obtenidas.

Tabla 1: Rango de valores soportados en el mapa cartesiano de OpenGL ES

Eje Cartesiano	Rango mínimo	Rango máximo
X	-1	1
Y	-1	1
Z	-1	1

Fue necesario realizar la conversión de los datos utilizando la Ecuación (1).

$$v = \left(x * \frac{(b_2 - b_1)}{(a_2 - a_1)} \right) + \frac{(b_1 a_2 - b_2 a_1)}{(a_2 - a_1)} \quad (1)$$

donde :

- x es el valor original a transformar.
- $[a_1, a_2]$ es el rango original mínimo y máximo de x .
- $[b_1, b_2]$: es el nuevo rango máximo y mínimo hacia escalar.
- v es el valor obtenido del dato original transformado al nuevo rango objetivo.

De esta manera, los puntos escaneados por el sensor ultrasónico son transformados a la nueva escala, con el fin de implementarlos en la graficación del modelado en 3D.

III.2. Materiales

Los principales componentes de hardware empleados para el desarrollo del escáner 3D son los siguientes:

- Placa controladora AT-Mega 2560.
- Sensor ultrasónico - HC-SR04.
- Micro-servo motor - SG90.
- Motor 3-6V.
- Texas Instruments Dual H-Bridge motor drivers L293D.
- Módulo de alimentación.
- 9V 1A Switching Wall Power Supply.
- Módulo Bluetooth HC-06.

Los principales componentes de software empleados para la programación tanto de la aplicación móvil como el Arduino para la adquisición de datos de los sensores son:

- Arduino IDE.
- Android Studio.

Circuito para control de los motores de la plataforma

En la Figura 4 se muestra el circuito utilizado, así como la conexión de los componentes al controlador AT-Mega 2560.

Para la realización del escáner 3D se realizó el siguiente orden de construcción:

1. Selección de componentes a utilizar.
2. Conexión de placa AT-Mega 2560 con protoboard de 830 puntos.
3. Conexión de sensor ultrasónico HC-SR04.
4. Conexión de servomotor SG90.
5. Conexión de motor 3-6V.
6. Adición del módulo Bluetooth HC-06.
7. Implementación del módulo de energía.

De manera que el escáner resultante se puede observar en la Figura 5.

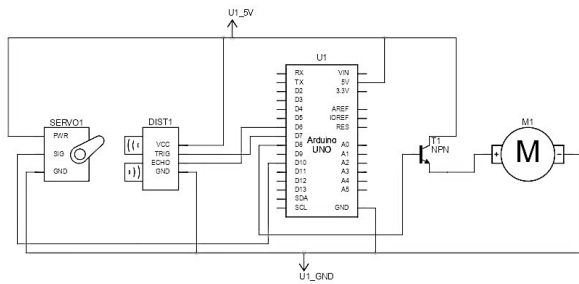


Figura 4: Esquema del circuito para controlar los motores de la plataforma del escáner 3D, incluyendo la conexión al dispositivo Arduino

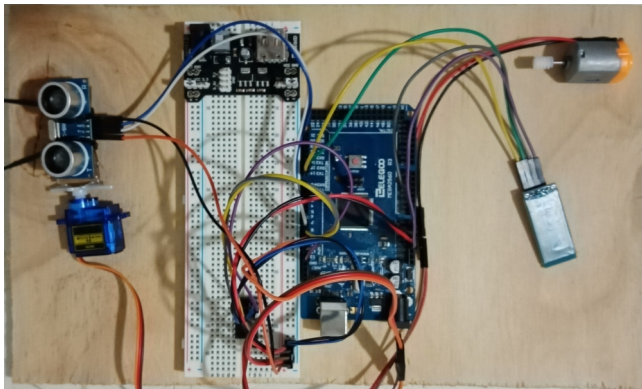


Figura 5: Circuito Arduino

IV. Resultados

Al acceder a la aplicación, en caso de ser necesario, se solicita activar la funcionalidad de Bluetooth en el dispositivo móvil (Figura 6), esto con el fin de poder establecer una comunicación con el módulo Bluetooth conectado a la placa Arduino. Adicionalmente, es necesario mantener activa la funcionalidad de Ubicación, ya que es un requisito para poder listar los dispositivos Bluetooth vinculados.

Una vez activado el adaptador Bluetooth, se muestra un listado de los dispositivos que se encuentran disponibles en ese momento (Figura 7), es decir, que se encuentran al alcance de nuestro dispositivo y con los cuales puede establecer una comunicación.

A continuación, identificamos el SSID del módulo Bluetooth conectado a la placa Arduino, damos clic en el botón, esto arrojará una ventana de confirmación (Figura 8) en la cual daremos clic en “Conectar” para establecer la comunicación entre los dispositivos.

Hecho esto, la aplicación enviará una señal a la placa Arduino para iniciar el escaneo del objeto. Las coordenadas obtenidas por el sensor ultrasónico serán dibujadas en tiempo real en la aplicación, ver Figura 9.

Las pruebas de escaneo se realizaron utilizando un

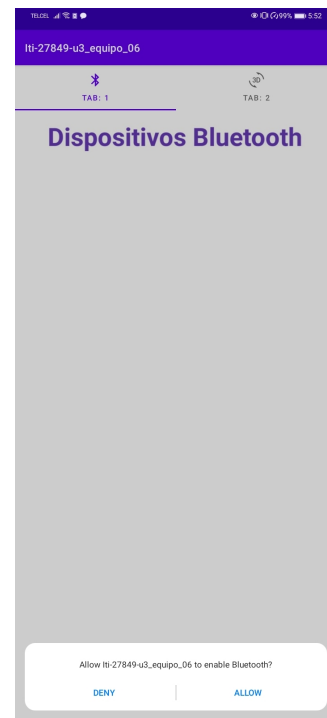


Figura 6: Solicitud de encendido de Bluetooth

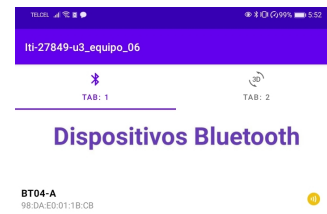


Figura 7: Listado de dispositivos Bluetooth disponibles

vaso como modelo (Figura 10). Dicho objeto tiene una forma de cilindro.

Posteriormente, se agregó la funcionalidad de cambiar el color de los puntos a graficar de la figura escaneada, esto se realiza a través de la clasificación de sus valores en cada punto en el eje coordenado Z con base en las siguientes condiciones:

- El punto se grafica de color rojo si el valor del eje Z es negativo $Z < 0$.
- El punto se grafica de color negro en caso que el valor del eje coordenado Z sea positivo $Z \geq 0$.

En la Figura 11 se muestra la salida de la aplicación después de aplicar los cambios mencionados anteriormente. Como se logra observar, los puntos superiores sufren un cambio en su tonalidad de color, mostrándolos de un color rojizo.

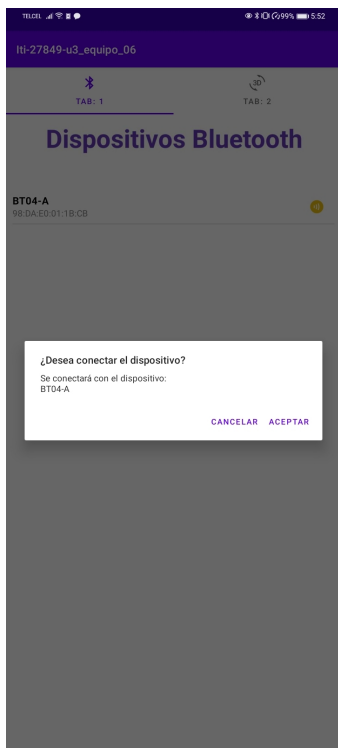


Figura 8: Confirmación de conexión



Figura 10: Objeto escaneado



Figura 9: Generación de puntos a partir de coordenadas obtenidas por el sensor

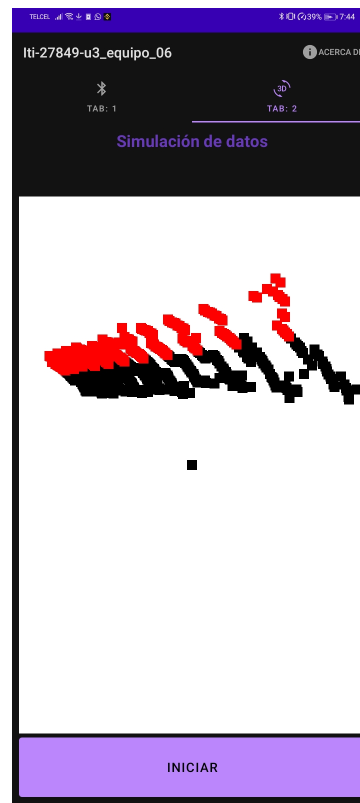


Figura 11: Generación de puntos a partir de coordenadas obtenidas por el sensor con cambio de color



Figura 12: Segundo objeto de prueba

El objeto escaneado para esta prueba fue un cilindro de cartón, mismo que puede observarse en la Figura 12.

V. Conclusiones

Conforme al sistema propuesto para la realización del escáner 3D, construido mediante el controlador AT-Mega 2560 y el sensor ultrasónico HC SR04, se permitió llevar a cabo la digitalización de distintos objetos, determinando una alta capacidad en la ejecución del dispositivo. Así mismo, en el desarrollo de la aplicación móvil planteada para Android se observa la comunicación P2P Bluetooth con el dispositivo correspondiente para el inicio y recepción de los datos de manera constante, de la misma forma, se implementó de manera correcta los gráficos de alto rendimiento OpenGL ES 2.0, permitiendo obtener un modelo 3D graficando los datos recibidos y visualizando un esquema similar conforme a la figura escaneada.

Algunas limitaciones que presenta el trabajo desarrollado consiste en que son mejorables tanto la aplicación móvil en cuanto a la construcción y despliegado del modelo 3D, así como la fase de adquisición de los datos por parte del sensor ultrasónico, en donde hay algunos problemas debido a la velocidad de operación y de manejo de ruido.

Como trabajo futuro, se propone realizar una fusión de los datos obtenidos mediante el sensor ultrasónico con imágenes adquiridas por la cámara del teléfono inteligente, con la finalidad de mejorar el desempeño del sistema.

Además, se propone mejorar el resultado de escaneo utilizando un sensor ultrasónico de mayor fiabilidad, y sustituir los motores que controlan el movimiento de la base por aquellos que permitan un escaneo mucho más preciso del objeto de interés a ser escaneado.

Otro punto importante a desarrollar para mejorar el trabajo es efectuar una comparativa de la calidad de la imagen vs distancia, ya que los resultados preliminares sugieren que esto es mejorable en base a lo obtenido para las pruebas realizadas.

Referencias

- [1] 3-D scanner. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/3-D-scanner>. Consultado el 07-02-2023.
- [2] AAScan: Open source, minimalist, fully automated 3D scanner based on Arduino and Android! <https://www.thingiverse.com/thing:4167615>. Consultado el 07-02-2023.
- [3] FabScanPi's documentation. <https://fabscanpi-server.readthedocs.io/en/latest/>. Consultado el 07-02-2023.
- [4] DIY Standalone 3D Scanner. <https://www.instructables.com/DIY-Standalone-3D-Scanner/>. Consultado el 07-02-2023.
- [5] OpenScan. <https://en.openscan.eu/>. Consultado el 07-02-2023.
- [6] Roger Pressman. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. 7.^a ed. USA: McGraw-Hill, Inc., 2009. ISBN: 0073375977.
- [7] Qué es Android. https://www.android.com/intl/es-419_mx/what-is-android/. Consultado el 07-02-2023.
- [8] What is a native app? <https://magenest.com/en/native-app/>. Consultado el 07-02-2023.
- [9] Kotlin Programming Language. <https://kotlinlang.org/>. Consultado el 07-02-2023.
- [10] Java Language Basics. <https://dev.java/learn/java-language-basics/>. Consultado el 07-02-2023.
- [11] android. https://www.android.com/intl/es-419_mx/. Consultado el 07-02-2023.
- [12] Introducción general a Bluetooth. <https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth?hl=es-419>. Consultado el 07-02-2023.
- [13] Bluetooth RFCOMM. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/uwp/devices-sensors/send-or-receive-files-with-rfcomm>. Consultado el 07-02-2023.
- [14] OpenGL. <https://www.opengl.org/>. Consultado el 07-02-2023.
- [15] 3D Coordinate System – Definition, Graphing Techniques, and Examples. <https://www.storyofmathematics.com/3d-coordinate-system/>. Consultado el 07-02-2023.

System development for Calibration of Certification Instruments in Energy Quality with LabVIEW

Desarrollo de Sistema para Calibración de Instrumentos de Certificación en Calidad Energética con LabVIEW

Jaime Jalomo Cuevas¹, Ramón Chávez Bracamontes¹, Juan Francisco Palomino Bernal^{*1}, Roberto Ruiz Aguilar¹, and Ramiro Rodríguez Pérez¹

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán,
Departamento de Eléctrica y Electrónica, Departamento de Ciencias de la Tierra,
Av. Tecnológico 100, Carretera al Fresnito, Ciudad Guzmán, Jal., México, 49100.
roberto6463435@gmail.com, {jaime.jc, ramon.cb, juan.pb, ramiro.rp }@cdguzman.tecnm.mx

Abstract

The present work focuses on the study of disturbances generated by devices such as solar panels or wind turbines, focusing on the Flicker effect. Therefore, different tests are generated to induce the Flicker effect, both physical and digital, using as a meter a block diagram made in LabView software. Subsequently, a code was developed in MATLAB using 2 and 3 variables to produce the grouping of the signals collected, product of the aforementioned effect and without it, thus obtaining, graphically, the required information for its grouping and future developments focused on the Flicker effect reduction. It is important to mention the benefits in energy quality, highlighting energy savings through solar or wind supply.

Keywords— Flicker Effect, Labview, Energy Quality

Resumen

El presente trabajo se enfoca en el estudio de las perturbaciones generadas por dispositivos como paneles solares o turbinas eólicas, enfocándose en el efecto flicker. Por lo tanto, se generan diferentes pruebas para inducir el efecto flicker, tanto físico como de manera digital, utilizando como medidor un diagrama de bloques elaborado en el software Labview. Posteriormente, se desarrolló una codificación en MATLAB utilizando 2 y 3 variables para producir el agrupamiento de las señales recabadas, producto del

efecto mencionado y sin él, obteniendo así, de manera gráfica, la información necesaria para su agrupamiento y futuros desarrollos enfocados a la aminorización del efecto flicker. Es importante mencionar los beneficios en la calidad de la energía, destacando el ahorro energético mediante el abasto solar o eólico.

Palabras clave— Efecto Flicker, Labview, Calidad de Energía

I. Introducción

La importancia de la calidad energética no se había considerado con un alto grado de interés en México hasta hace poco tiempo, del mismo modo, tampoco las repercusiones causadas en los dispositivos abastecidos de las redes eléctricas, para su correspondiente desempeño al ser utilizados.

Resulta importante mencionar las afectaciones derivadas de las mismas, entre ellas, se pueden encontrar el consumo excesivo de energía eléctrica y el daño que causa a los equipos eléctricos y electrónicos sensibles, lo anterior, debido a la baja eficiencia que reúnen las instalaciones eléctricas [1].

Para garantizar una buena calidad de la energía [2, 3], es necesario llevar a cabo diferentes tipos de mediciones como lo son: el factor de potencia, armónicos, interarmónicos, sags, swells y flicker, por mencionar algunos.

En México existe una Norma Oficial Mexicana equivalente a la internacional IEC 61000-4-15 [4], siendo su equivalente la norma NMX-J-550/4-15-ANCE-2005, donde se establecen principalmente los requerimientos para un medidor de flicker [5, 6] y los procedimientos para su

* Autor de correspondencia

certificación, la cual, será indispensable para el presente trabajo. Enfocado principalmente en una plataforma de calibración de bajo costo desarrollada en LabVIEW utilizando una metodología sencilla pero eficiente que incluye desde simulaciones hasta trabajos desarrollados en laboratorio, con diferentes dispositivos para inducir el efecto flicker y posteriormente, realizar su estudio mediante diferentes pruebas [7], para continuar con una calibración [8] adecuada del programa desarrollado en LabView.

Y adicionalmente, una codificación en MATLAB como aportación para trabajos futuros del presente, relativos a calidad de energía al utilizar 3 variables para la agrupación de señales, con y sin efecto flicker, además de su respectiva agrupación basado en un sistema de bajo costo.

II. Diseño de Diagrama y herramientas para el estudio

II.1. Desarrollo del programa para medición en Labview

Para desarrollar las mediciones del valor flicker se decide emplear el programa LabVIEW debido a su practicidad y su compatibilidad con diversas herramientas. Para la transacción de datos de voltaje se utiliza el sensor ZMPT101B, el cual, reduce el voltaje variable de 240V a un voltaje de 0V a 5V, pudiendo ser utilizado por el convertidor analógico-digital del microcontrolador. La placa Ni-DAQ 6009 será indispensable para realizar la actividad mencionada.

Concerniente al medidor flicker, se construye haciendo uso del módulo Control and Design Simulation de LabVIEW, al utilizar funciones de transferencia como lo desarrolló A. Bertola [9] con una frecuencia de muestreo de 1 kHz.

El programa se desempeña de la siguiente manera: antes de ingresar los datos al medidor, pasan por un bloque de escalamiento para, posteriormente, regresar a su valor original y procesarse en los bloques de transferencia mencionados anteriormente, continuando el ciclo de lazo y para repetir la operación mediante el ciclo de control & simulation loop. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del medidor desarrollado en LabVIEW.

Una vez desarrollado el programa de medición de flicker en LabVIEW, se realiza una prueba mediante una conexión a la red eléctrica de una vivienda, para comprobar el correcto funcionamiento de la herramienta desarrollada en el software LabVIEW. En la Figura 2 se muestra el panel frontal de LabVIEW con las mediciones correspondientes, en donde en el eje "Y" se encuentra la amplitud y en el eje de las "X" el tiempo.

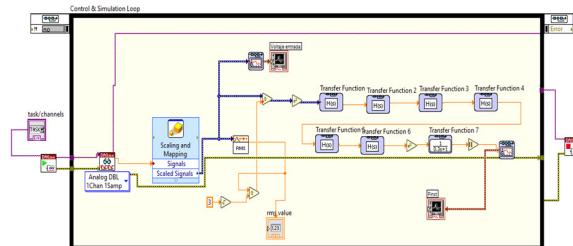


Figura 1: Diagrama de bloques medidor de flicker

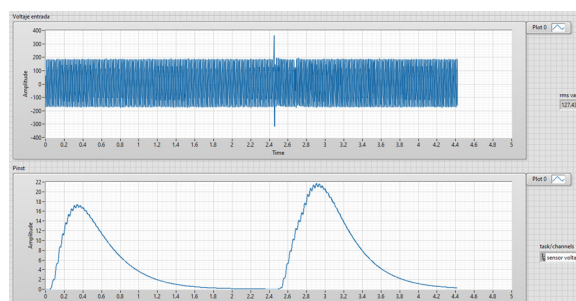


Figura 2: Panel frontal de medidor de flicker en LabVIEW

II.2. Desarrollo y mediciones en generador físico

Para comprobar las simulaciones de sistemas de generación se utiliza un motor de inducción trifásico, el cual, cuenta con un generador de corriente directa acoplado en lugar de un generador de corriente alterna, debido a lo anterior, no fue posible realizar una prueba de sincronización con otro generador, sin embargo, si fue posible realizar la prueba de agregación de cargas utilizando un inversor de voltaje.

En la Figura 3 se muestra el acoplamiento del motor generador para desarrollar pruebas e inducir el efecto flicker y poder apreciar los Pinst (parpadeos instantáneos en picos de lectura en señal) en la red de energía eléctrica suministrada por el motor generador.



Figura 3: Motor generador

En la Figura 4 se muestra el inversor de voltaje marca Steren de 600W. Para controlar la velocidad del motor descrito anteriormente.



Figura 4: Inversor de voltaje Steren

Para la salida de voltaje del generador se utiliza un variador de frecuencia de la marca Micro Drive mostrado en la Figura 5, el cual se utilizará para manipular la frecuencia de la señal a analizar.



Figura 5: Variador de frecuencia Micro Drive

El generador mostrado anteriormente entrega a su salida 90V, resultando en la necesidad de utilizar un divisor de voltaje para poder ser utilizado por el inversor, el circuito utilizado se observa en la Figura 6, el cual fue simulado primeramente en el software de Proteus utilizando dos resistencias: la primera de $10k\Omega$ y la segunda de $2k\Omega$ respectivamente.

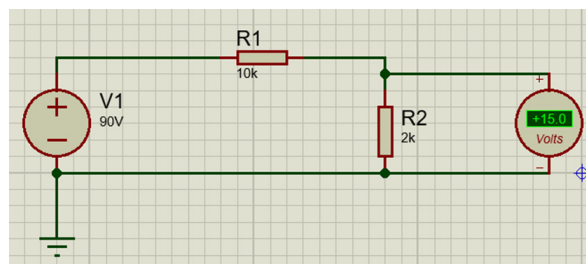


Figura 6: Divisor de voltaje

Al utilizar el conjunto del generador/inversor, utilizando el medidor flicker desarrollado en LabVIEW, se capta un nivel considerable de Pinst, como se muestra en la Figura 7.

En la Figura 8 se muestra una medición realizada a la señal en un toma de corriente común. Es posible realizar una comparativa con la señal mostrada en la Figura 7 al

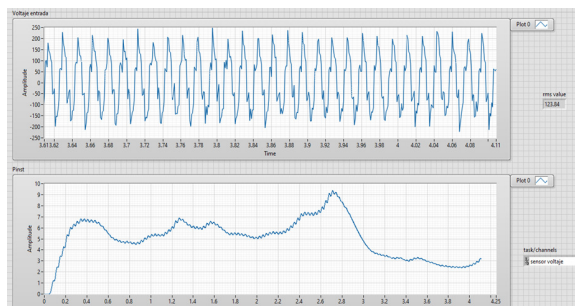


Figura 7: Pinst de generador-inversor

apreciar la forma de onda se puede entender el cambio considerable en la misma y con ello, el Vrms (siglas en inglés de voltaje de raíz cuadrática media), por lo que la Pinst se incrementa, independientemente de presentarse un parpadeo detectable por el ojo humano.

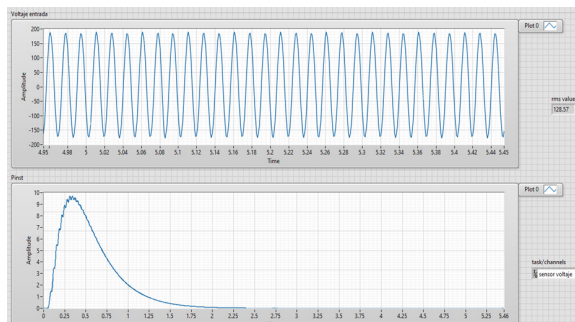


Figura 8: Pinst en un toma corrientes

Continuando con el análisis descrito hasta el momento, también se utilizó un analizador de redes de la marca MyeBOX para realizar la medición al mismo sistema, aunque este dispositivo lo expresa en el término “Pst” y no “Pinst”, debido a que no cuenta con la función descrita, obteniendo un resultado no muy cercano al producido con el medidor desarrollado en LabVIEW, deduciendo que alguno de los dos dispositivos necesita una calibración. La medición descrita se muestra en la Figura 9.

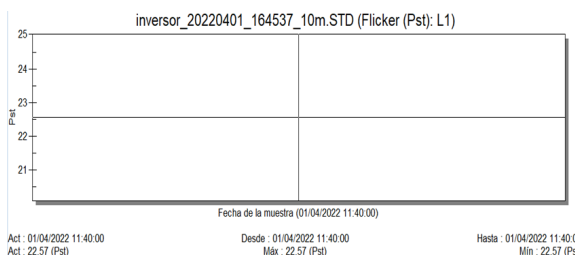


Figura 9: Medición de Flicker Pst del inversor del sistema generador inversor

II.3. Alternancia de fuentes de voltaje

Otra metodología utilizada para la generación del efecto flicker es mediante la alternancia entre dos fuentes de voltaje, en este desarrollo se utiliza una fuente de voltaje alterna, marca Agilent, y el suministro de voltaje del laboratorio donde se realiza el presente trabajo, en donde, para alimentar una lámpara convencional y su correspondiente intercalamiento, se utilizan dos relevadores de estado sólido. Lo anterior puede apreciarse en la Figura 10.

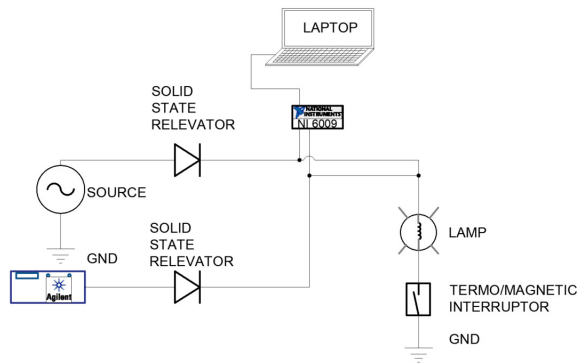


Figura 10: Relevadores utilizados en el intercalado de fuentes

Es importante mencionar que fue desarrollado un programa adicional realizado en LabVIEW para controlar el sistema de dos fuentes por la tarjeta NI 6009, para lograr incentivar el efecto flicker en el sistema descrito y poder analizar las lecturas posteriormente, el programa para realizar el control de intercalado de fuentes es apreciable en la Figura 11.

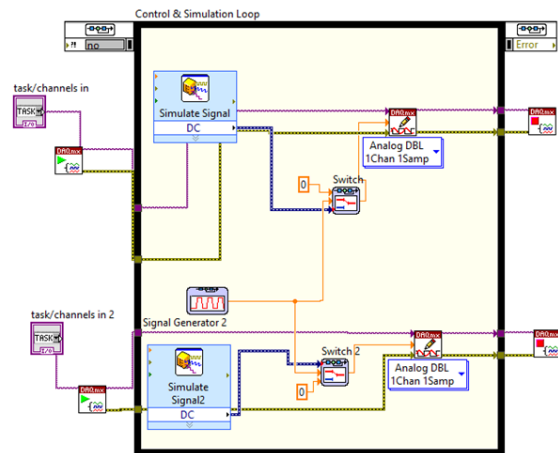


Figura 11: Programa para intercalado de fuentes de voltaje

Mediante el programa realizado es posible modificar la frecuencia de intercalado entre las dos fuentes. Aumentando o disminuyendo el voltaje de la fuente Agilent

se produce la modulación de amplitud y al conocer el voltaje de las fuentes se puede calcular el porcentaje de modulación, para adicionalmente y al poseer ese porcentaje con la frecuencia de intercalado, es posible realizar una estimación del Pinst, para realizar posteriormente una calibración del programa denominado “medidor flicker” desarrollado en LabVIEW, utilizando la norma IEC 61000-4-15.

Después de ejecutar las pruebas descritas, resulta precedente apreciar la limitación en la velocidad de intercalado entre las fuentes, debido a que, aunque se establecieran las fuentes al mismo voltaje, continuaba observándose un parpadeo, por lo que la calibración no sería de mucha precisión, optando por usar este método en simulación y calibrar el medidor de flicker (desarrollado en la Figura 1) en LabVIEW. En la Figura 12 se muestra la señal obtenida en el intercalado de fuentes.

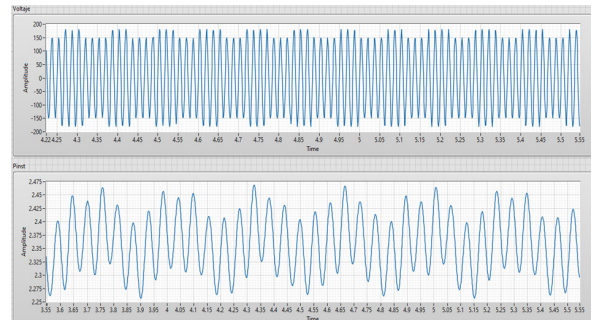


Figura 12: Señal de intercalado de fuentes

III. Prueba del Medidor Flicker

Continuando con las pruebas del medidor flicker, resulta necesario desempeñar la toma de señales del mismo utilizando una metodología comparativa, con referencia en la tabla que se encuentra en el estándar IEC 61000-4-15. En el tabulador mencionado se utilizan distintos valores de porcentaje de modulación de amplitud “M” y también diferentes frecuencias. Todos los valores deberían de producir un resultado de Pinst de entre $1 \pm 8\%$. Por lo cual se utiliza el método de intercalado de fuentes y se prueba el medidor de flicker en simulación.

En el primer desarrollo todos los valores de Pinst resultaron muy por debajo del valor esperado, optando por la elaboración de un escalamiento en el resultado para incentivar el acercamiento al valor deseado. Se decide escalar el resultado y adaptarlo para obtener por lo menos un valor dentro del rango permitido. Sin embargo, todos los demás valores resultaron erróneos, por lo que se requiere validar si el error se encuentra en el medidor de flicker o en el método de modulación utilizado. En la Tabla 1 se muestran los valores de Pinst obtenidos.

Tabla 1: Valores de Pinst obtenidos en prueba de modulación

120V / 60 Hz	IEC 61000-4-15 (Sinusoidal)		IEC 61000-4-15 (Rectangular)	
	$\Delta U/U$ %	Pinst, Max	$\Delta U/U$ %	Pinst,Max
0.5	2.453	30	0.598	1.87
1.5	1.126	10.75	N/A	
3.5	N/A		0.408	1.02
8.8	0.321	0.771	0.525	0.481
18	N/A		0.626	10.52
20	0.977	1.155	N/A	
22	N/A		0.851	0.143
25.5	N/A		1.072	0.28
33.33	2.57	0.212	1.823	0.1075
37	N/A		1.304	0.377
40	4.393	1.038E^-5	3.451	6.52E^-6

Para obtener la modulación exacta requerida y asegurar una calibración conforme a la Norma IEC 61000-4-15, es necesario mantener fija una de las fuentes de voltaje y la otra disminuirla o aumentarla como método alternativo para obtener la diferencia de voltaje ΔV y así se pueda inducir un valor igual al voltaje promedio del ΔV , multiplicado por el porcentaje de modulación M, para simplificar el proceso se utilizó el Software Excel, donde es posible mediante fórmulas simplificar el proceso, los resultados del proceso descritos se muestran en la Figura 13.

Vp	ΔV	M	Vpp	Vpp2	
166.048259	7.2946	4.393	169.695509	162.401009	
166.050535	7.2947	4.393	169.697835	162.403235	
166.052811	7.2948	4.393	169.700161	162.405461	
166.055088	7.2949	4.393	169.702488	162.407688	
166.057364	7.295	4.393	169.704814	162.409914	Vpp fijo
166.05964	7.2951	4.393	169.70714	162.41214	
166.061917	7.2952	4.393	169.709467	162.414367	
166.064193	7.2953	4.393	169.711793	162.416593	
166.066469	7.2954	4.393	169.714119	162.418819	
166.068746	7.2955	4.393	169.716446	162.421046	
166.071022	7.2955	4.393	169.718772	162.423272	
166.073298	7.2956	4.393	169.721098	162.425498	
166.075575	7.2957	4.393	169.723425	162.427725	
166.077851	7.2958	4.393	169.725751	162.429951	
166.080127	7.2959	4.393	169.728077	162.432177	
166.082404	7.296	4.393	169.730404	162.434404	
166.08468	7.2961	4.393	169.73273	162.43663	
166.086957	7.2962	4.393	169.735057	162.438857	

Figura 13: Proceso de obtención de Modulación en Excel

El valor que se está modificando es el correspondiente al ΔV , para obtener de esta manera el valor exacto de la fuente de voltaje 2. En la Tabla 2 se muestra el voltaje de la fuente 2, correspondiente a cada porcentaje de modulación.

III.1. Ajuste del medidor Flicker en LabVIEW

Anteriormente, se probó el medidor de flicker usando el procedimiento establecido en el estándar IEC 61000-4-15, derivado de eso, se llena la Tabla 1, en la cual se

Tabla 2: Voltajes de fuente 2 correspondientes a M

Frecuencia Hz	Modulación senoidal		Modulación cuadrada	
	M	V Fuente 2	M	V Fuente 2
0.5	2.453	165.591618	0.598	168.692258
1.5	1.126	167.803911		
3.5			0.408	169.013087
8.8	0.321	169.161082	0.525	169.276918
18			0.626	168.645084
20	0.977	168.054145		
22			0.851	168.266864
25.5			1.072	167.894675
33.33	2.57	165.397943	1.823	166.638266
37			1.304	167.50568
40	4.393	162.409135	3.451	163.947268

observó un nivel alto de error, por lo cual es necesario verificar si el error se encuentra en el medidor o en el método de prueba, después, se realizaron pruebas con el método de modulación clásico, pero el error se incrementó, por lo que se decide realizar algunos ajustes al medidor. Los ajustes mencionados constan en retirar el escalamiento y en su lugar, incluir una función de transferencia adicional con un bloque de valor absoluto, después se realizaron pruebas con diferentes valores en las fuentes con el programa mencionado para realizar el llenado de los tabuladores y obtener resultados benéficos al estudio mediante una metodología comparativa, utilizando el programa desarrollado en LabVIEW apreciable en la Figura 14, junto a un bloque de valor absoluto.

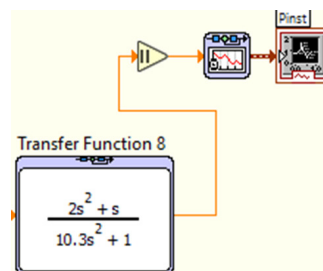


Figura 14: Función de transferencia agregada al medidor

Después de algunas pruebas con diferentes valores en las fuentes, se llena nuevamente la tabla obteniéndose mejores resultados, mostrados en la Tabla 3.

En la Figura 15 se muestra la simulación de una de las pruebas, como se puede observar, el valor máximo de la Pinst es muy cercano a uno, además, en cada una de las pruebas se obtiene un resultado similar. El valor RMS (siglas en inglés de raíz cuadrática media) de la fuente 1, se mantuvo siempre fijo en un valor de 120, para poder asegurar una correcta modulación con un tiempo de muestreo de 1×10^{-3} (0.001 segundos).

Desprendido de lo anterior, es posible observar que la Pinst cae a 0 y después regresa, esto podría afectar en caso de una medición Pst (siglas en inglés de parpadeo

Tabla 3: Valores de Pinst obtenidos en prueba de modulación después de calibración

120V / 60 Hz F	IEC 61000-4-15 (Sinusoidal)		IEC 61000-4-15 (Rectangular)	
	$\Delta U/U$ %	Pinst, Max	$\Delta U/U$ %	Pinst, Min
0.5	2.453	0.99785	0.598	1.003
1.5	1.126	1.0035	N/A	
3.5	N/A		0.408	1.0075
8.8	0.321	0.9981	0.525	1.006
18	N/A		0.626	1.004
20	0.977	0.98981	N/A	
22	N/A		0.851	1.0185
25.5	N/A		1.072	1.0253
33.33	2.57	0.9548	1.823	1.039
37	N/A		1.304	1.0238
40	4.393	0.9386	3.451	1.0568

flicker en periodos cortos de tiempo) o Plt (siglas en inglés de parpadeo flicker en periodos largos de tiempo), por lo que habrá que modificarse en trabajos posteriores, pero para el presente estudio enfocado en pruebas de Pinst funciona correctamente.

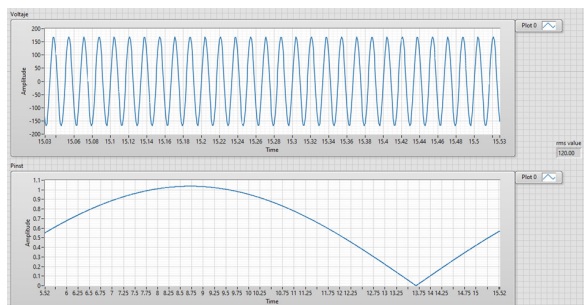


Figura 15: Pinst después de ajuste

Los últimos valores de Pinst registrados en cada uno de los espacios de la tabla se encuentran dentro del rango permitido por la norma IEC 61000-4-15, entre los valores de $1 \pm 8\%$, garantizando una calibración dentro de los parámetros de la norma, validando esta prueba en el medidor desarrollado en el presente trabajo, los valores se muestran en las columnas de Pinst, Max y Pinst, Min, correspondientes a la Tabla 3 identificándolos como permitidos.

IV. Resultados

Después de realizarse las simulaciones y obtener resultados favorables, se aplicó una prueba de medición de voltaje real en el sistema eléctrico de una casa bajo el supuesto de la inexistencia del efecto flicker en la red doméstica, para realizar una verificación del funcionamiento aplicando las modificaciones realizadas al medidor flicker desarrollado en LabVIEW, es posible apreciar

en la Figura 16 la medición de voltaje de la señal.

En la Figura 16 se observa un Pinst máximo de aproximadamente 0.52, obteniendo una medición correcta según estándares de la norma IEC 61000-4-15, lo anterior se puede afirmar debido a la inexistencia de una modulación y es más baja la lectura que las mediciones registradas en la Tabla 3, comprobando así el presente trabajo.

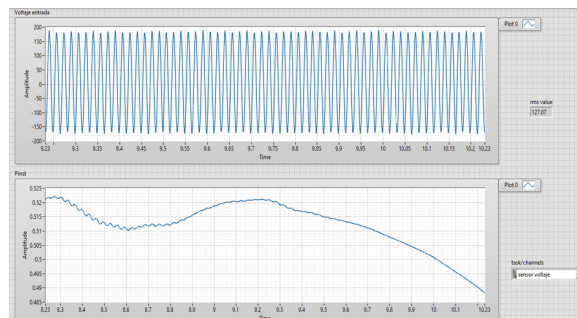


Figura 16: Señal de Pinst de sistema físico después de modificar el medidor

Posteriormente se hizo una prueba agregando una carga después de la calibración mencionada anteriormente, los resultados son apreciables en la Figura 17. Para validar como un segundo método de prueba a la calibración realizada al programa desarrollado en LabVIEW del medidor flicker.

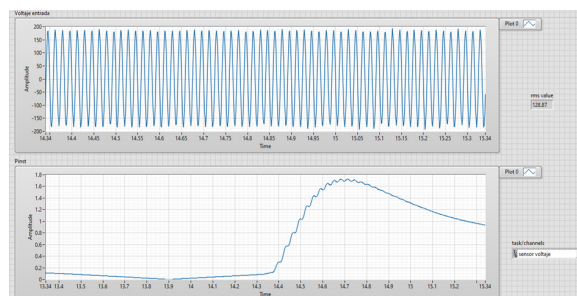


Figura 17: Adición de carga a un sistema después de ajuste del medidor

Como un tercer análisis de prueba se aplicó el programa de medidor flicker con un inversor, mostrado en la Figura 18, obteniendo valores de Pinst por debajo del 3%, siendo lo anterior un valor aceptable dentro del estándar de la norma IEC 61000-4-15.

V. Conclusiones

Adicionalmente se realizó un programa para clasificar señales con y sin efecto flicker, utilizando técnicas de agrupamiento en el programa MATLAB bajo la metodología difusa, obteniendo las señales con ayuda de la tarjeta

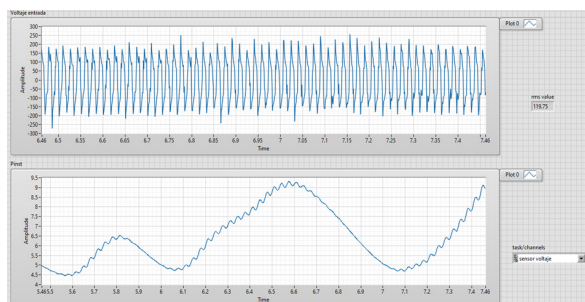


Figura 18: Medición de Pinst en inversor después de la calibración del medidor flicker

NI-6009 y el sensor de voltaje ZMPT101B, primeramente, se obtienen 50 muestras directamente del tomacorriente del laboratorio. Para una mayor apreciación del código mencionado, se anexa un enlace abierto de google drive con acceso al público en general ingresando al vínculo mostrado a continuación:

<https://drive.google.com/drive/folders/1m7QQYgHrtf2xwHTkTKxy2P1yfGoamYq?usp=sharing>

Al ingresar al vínculo mostrado en la parte superior, podemos observar las variables en las que se basa, siendo un grupo el voltaje RMS y la energía, al hacerlo de esta manera se obtiene una gráfica en 2 dimensiones debido a que son 2 variables las que se consideran.

En la Figura 19 se muestra la gráfica de dos dimensiones en la que los círculos de color rojo se agrupan entre sí en un extremo, indicando que son las señales que contienen flicker, y en otro extremo se agrupan señales de color verde indicando que son las señales que no contienen efecto flicker.

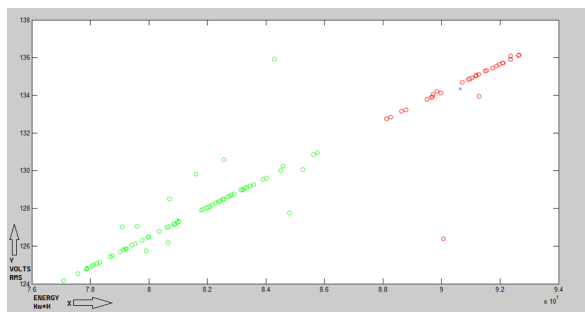


Figura 19: Gráfica de señales agrupadas con y sin flicker en 2 dimensiones

Aunque es notable la separación entre los dos grupos de señales, se intuye que podría mejorarse el mismo agregando una tercera variable a considerar, la tercera variable ingresada fue el promedio de los valores pico. El resultado de agregar la tercera variable se muestra en la Figura 20, donde se observa una mayor distancia entre

los dos grupos de señales.

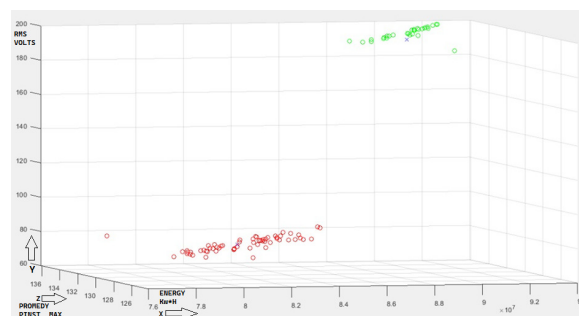


Figura 20: Clasificación de señales con y sin flicker

Este método podría ser de gran utilidad e incluso detectar anomalías que un medidor clásico no detecta, se puede aumentar o disminuir las señales según se requiera y se podría probar con otro tipo de fallas. Después de realizar el presente estudio y analizando los resultados, puede deducirse benéfico para temas de calidad de energía y consecuentemente, ahorro de energía, al implementarlo de una manera adecuada como trabajo futuro el desarrollo de un modelo industrial en el software Solid-Works para integrar el sistema desarrollado, aumentando significativamente su portabilidad e implementarlo en una red donde se presente el efecto flicker.

Es importante concluir que el área de la calidad de la energía es amplio, por lo que se requiere de múltiples procedimientos para verificar completamente un instrumento, por lo anterior, se sugieren algunas actividades adicionales para continuar con el presente trabajo.

1. Agregar al medidor de flicker implementado un bloque para la medición de flicker Pst y otro más para flicker Plt.
2. Realizar pruebas con paneles solares y generadores eólicos para estudiar el comportamiento del efecto en esos sistemas.
3. Utilizar metodologías neuronales para el reconocimiento de patrones en el efecto flicker y poder realizar calibraciones utilizando el código desarrollado en MATLAB, mostrado en el enlace de Google Drive.
4. Automatizar el proceso de prueba de porcentaje de modulación y de ser posible de manera remota.

Agradecimientos

Dirigidos al Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, por el apoyo brindado abarcando desde materiales, herramientas y equipo, necesarios para el desarrollo del presente estudio, ya que sin el apoyo de la institución no hubiese sido posible obtener el presente estudio y los resultados presentados.

Referencias

- [1] Alexander Kusko. *Power quality in electrical systems*. McGraw-Hill Education, 2007.
- [2] Miguel A Sánchez. «Calidad de la energía eléctrica». En: *Instituto Tecnológico de Puebla, México* (2009), págs. 696-703.
- [3] Angelo Baghini. *Handbook of power quality*. John Wiley & Sons, 2008.
- [4] Electromagnetic Compatibility. «Part 4–15: Testing and Measurement Techniques—Flickermeter—Functional and Design Specifications». En: *IEC Standard* (2010), págs. 61000-4.
- [5] Guglielmo Frigo. «Design of a High-Accuracy and Traceable Reference Instrument for Flickermeter Certification». En: *2021 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*. IEEE. 2021, págs. 1-6.
- [6] Charles Ané, Jean-Pierre Braun y Christian Messter. «Establishing traceability for flickermeters». En: *2018 First International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet)*. IEEE. 2018, págs. 1-5.
- [7] Jan Šlezinger y Jiří Drápela. «Preliminary results of selected flicker meters tests for compliance with second edition of IEC 61000-4-15». En: *Proceedings of the 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering*. 2011.
- [8] Antonio Creus Solé. *Instrumentos industriales: Su ajuste y calibración*. Marcombo, 2009.
- [9] A Bertola et al. «A Matlab-Simulink flickermeter model for power quality studies». En: *2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power (IEEE Cat. No. 04EX951)*. IEEE. 2004, págs. 734-738.

Mobile app for the kinematic analysis of four bar mechanisms

Aplicación móvil para el análisis cinemático de mecanismos de 4 barras

Aldo Francisco Cervantes-Figueroa^{*1}

¹ Universidad Politécnica de Chihuahua (UPCH),
Av. Teófilo Borunda 13200, Col. Labor de Terrazas, Chih., México, 31220.
acervantes@upchihuahua.edu.mx

Abstract

A mobile app for teaching the kinematics of four-bar mechanisms is presented, providing interactivity that allows the modification of input parameters and graphic adjustment to visualize the mechanism in the desired position for analysis. Velocities and accelerations of each link, as well as the angular positions provided, are the output values. The results of the velocities and accelerations in the centers of gravity of each link are also obtained, which are necessary for dynamic forces analysis. The app was developed so that engineering students have a reliable analysis tool available.

Keywords— four bar mechanism, kinematics, apps for teaching mechanisms

Resumen

Se presenta una aplicación móvil para la enseñanza de la cinemática de mecanismos de 4 barras, brindando una interactividad que permite la modificación de parámetros de entrada y el ajuste gráfico para ver el mecanismo en una posición deseada para su análisis. Como valores de salida proporciona las posiciones, velocidades y aceleraciones angulares de cada eslabón y los resultados de las velocidades y aceleraciones en los centros de gravedad, mismos que son necesarios para un análisis de fuerzas dinámicas. La aplicación fue desarrollada para que los estudiantes de ingeniería tengan una herramienta de análisis confiable.

Palabras clave— mecanismo 4 barras, cinemática, aplicaciones para la enseñanza de mecanismos

* Autor de correspondencia

I. Introducción

El objetivo del estudio cinemático para un mecanismo consiste en obtener un movimiento deseado para una aplicación concreta [1] y del cual se obtendrá el cálculo del conjunto de parámetros cinemáticos (posición, velocidad y aceleración) que definen el comportamiento del movimiento para posteriormente llevar a cabo un análisis de fuerzas dinámicas del conjunto mecánico [2]. Entre los métodos tradicionales para el análisis cinemático se tienen el gráfico [3, 4] y el vectorial, a través de los conceptos de velocidad y aceleración relativa [5, 6, 7, 8].

Existen softwares y/o modelos matemáticos [3, 9] que definen el comportamiento de los parámetros cinemáticos del mecanismo de 4 barras como funciones de tiempo o con respecto a la posición angular del eslabón de entrada y en los cuales se puede llevar a cabo para una posición instantánea del mecanismo o en varias posiciones dentro del rango permitido del movimiento en ocasiones está restringido por el tipo de inversión cinemática como es el caso del mecanismo de 4 barras el cual se puede clasificar en: doble manivela, manivela balancín, doble manivela o triple balancín según cumpla o no con la ley de Grashof.

La aplicación aquí presentada se elaboró en el entorno informático de MIT App Inventor 2 [10], la cual es una plataforma destinada para la elaboración de aplicaciones para el sistema operativo Android, el programa lleva a cabo el análisis para una posición instantánea del eslabón motriz y conforme al cual se calculan automáticamente las posiciones, velocidades y aceleraciones del resto de eslabones que conforman el mecanismo de interés.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describen las generalidades de la notación que define el mecanismo de 4 barras en la geometría de su diagrama cinemático. En la sección III se describen las ecuaciones matemáticas utilizadas para calcular las

variables de posición, velocidad y aceleración con respecto a una posición seleccionada del eslabón de entrada. En la sección IV se muestra la interfaz de usuario de la aplicación móvil. En la sección V se describen las pruebas realizadas para validar los algoritmos matemáticos y finalmente, en la sección VI se muestran las conclusiones de este trabajo.

II. Generalidades

En la Figura 1 se muestra la representación cinemática utilizada para denotar la geometría de cualquier mecanismo de cuatro barras.

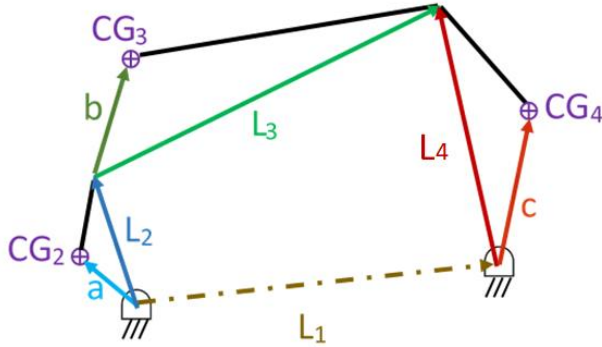


Figura 1: Diagrama cinemático para un mecanismo de 4 barras

De donde:

L_1 : Distancia entre juntas de la bancada o eslabón fijo.

L_2 : Distancia entre juntas del eslabón de entrada o motriz.

L_3 : Distancia entre juntas del acoplador.

L_4 : Distancia entre juntas del eslabón de salida.

CG_2 : Ubicación del centro de gravedad del eslabón de entrada o motriz.

CG_3 : Ubicación del centro de gravedad del acoplador.

CG_4 : Ubicación del centro de gravedad del eslabón de salida.

a : Magnitud del vector que ubica el CG_2 .

b : Magnitud del vector que ubica el CG_3 .

c : Magnitud del vector que ubica el CG_4 .

En la Figura 2 se muestran las referencias para los valores angulares, mismos que están asociados a las fórmulas de la siguiente sección.

De donde:

θ_1 : Es el ángulo de orientación para el vector L_1 con respecto a la horizontal (theta1 en la app).

θ_2 : Es el ángulo de orientación para el vector L_2 con respecto a la horizontal (theta2 en la app).

θ_3 : Es el ángulo de orientación para el vector L_3 con respecto a la horizontal (theta3 en la app).

θ_4 : Es el ángulo de orientación para el vector L_4 con respecto a la horizontal (theta4 en la app).

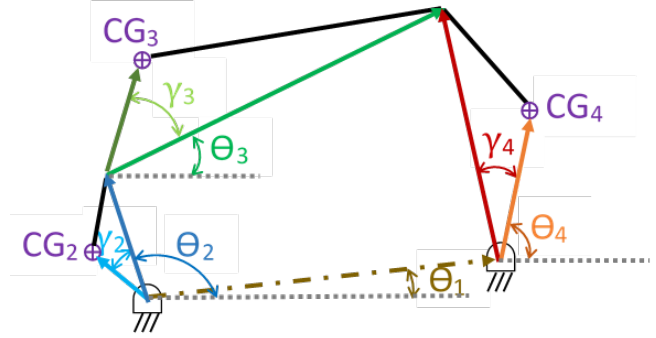


Figura 2: Referencia para valores angulares

γ_2 : Es la dirección del vector "a" con respecto al vector L_2 (gamma2 en la app).

γ_3 : Es la dirección del vector "b" con respecto al vector L_3 (gamma3 en la app).

γ_4 : Es la dirección del vector "c" con respecto al vector L_4 (gamma4 en la app).

III. Ecuaciones matemáticas

Las ecuaciones matemáticas utilizadas para la aplicación móvil quedan referenciadas por las ecuaciones (1)-(18) [9, 3].

III.1. Posiciones

Para la posición angular del acoplador o eslabón 3 se utiliza la Ecuación (1):

$$\theta_3 = 2 \arctan \left[\frac{-E \pm \sqrt{D^2 + E^2 - F^2}}{F - D} \right] \quad (1)$$

De donde:

$$D = 2L_3(L_2 \cos \theta_2 - L_1 \cos \theta_1)$$

$$E = 2L_3(L_2 \sin \theta_2 - L_1 \sin \theta_1)$$

$$F = L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 - L_4^2 - 2L_1L_2 \cos(\theta_2 - \theta_1)$$

Para calcular la posición angular del eslabón de salida o eslabón 4 se utiliza la Ecuación (2):

$$\theta_4 = 2 \arctan \left[\frac{-B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{C - A} \right] \quad (2)$$

De donde:

$$A = 2L_4(L_1 \cos \theta_1 - L_2 \cos \theta_2)$$

$$B = 2L_4(L_1 \sin \theta_1 - L_2 \sin \theta_2)$$

$$C = L_1^2 + L_2^2 + L_4^2 - L_3^2 - 2L_1L_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)$$

III.2. Velocidades

Para determinar la velocidad angular del acoplador se utiliza la Ecuación (3):

$$\omega_3 = \frac{L_2\omega_2 \text{sen}(\theta_4 - \theta_2)}{L_3 \text{sen}(\theta_3 - \theta_4)} \quad (3)$$

Para obtener la velocidad angular del eslabón de salida se utiliza la Ecuación (4):

$$\omega_4 = \frac{L_2\omega_2 \text{sen}(\theta_2 - \theta_3)}{L_4 \text{sen}(\theta_4 - \theta_3)} \quad (4)$$

En lo que respecta a las velocidades en los centros de gravedad, para la notación polar del vector de velocidad en el eslabón de entrada, eslabón motriz o eslabón 2 se utilizan la Ecuación (5) y la Ecuación (6):

$$VCG_2Mag = \sqrt{VCG_{2x}^2 + VCG_{2y}^2} \quad (5)$$

$$VCG_2Ang = \arctan\left(\frac{VCG_{2y}}{VCG_{2x}}\right) \quad (6)$$

Donde:

$$VCG_{2x} = -a\omega_2 \text{sen}(\theta_2 + \gamma_2)$$

$$VCG_{2y} = a\omega_2 \text{cos}(\theta_2 + \gamma_2)$$

Para la notación polar del vector de velocidad en el acoplador o eslabón 3 se utilizan la Ecuación (7) y la Ecuación (8):

$$VCG_3Mag = \sqrt{VCG_{3x}^2 + VCG_{3y}^2} \quad (7)$$

$$VCG_3Ang = \arctan\left(\frac{VCG_{3y}}{VCG_{3x}}\right) \quad (8)$$

Donde:

$$VCG_{3x} = -L_2\omega_2 \text{sen} \theta_2 - b\omega_3 \text{sen}(\theta_3 + \gamma_3)$$

$$VCG_{3y} = L_2\omega_2 \text{cos} \theta_2 - b\omega_3 \text{cos}(\theta_3 + \gamma_3)$$

Para la notación polar del vector de velocidad en el eslabón de salida o eslabón 4 se utilizan la Ecuación (9) y la Ecuación (10):

$$VCG_4Mag = \sqrt{VCG_{4x}^2 + VCG_{4y}^2} \quad (9)$$

$$VCG_4Ang = \arctan\left(\frac{VCG_{4y}}{VCG_{4x}}\right) \quad (10)$$

Donde:

$$VCG_{4x} = -c\omega_4 \text{sen}(\theta_4 + \gamma_4)$$

$$VCG_{4y} = c\omega_4 \text{cos}(\theta_4 + \gamma_4)$$

III.3. Aceleraciones

Para obtener la aceleración angular del acoplador o eslabón 3 se utiliza la Ecuación (11):

$$\alpha_3 = \frac{CD - AF}{AE - BD} \quad (11)$$

y del eslabón de salida o eslabón 4 se utiliza la Ecuación (12):

$$\alpha_4 = \frac{CE - BF}{AE - BD} \quad (12)$$

Donde:

$$A = L_4 \text{sen} \theta_4$$

$$B = L_3 \text{sen} \theta_3$$

$$C = L_2\alpha_2 \text{sen} \theta_2 + L_2\omega_2^2 \text{cos} \theta_2 + L_3\omega_3^2 \text{cos} \theta_3 - L_4\omega_4^2 \text{cos} \theta_4$$

$$D = L_4 \text{cos} \theta_4$$

$$E = L_3 \text{cos} \theta_3$$

$$F = L_2\alpha_2 \text{cos} \theta_2 + L_2\omega_2^2 \text{sen} \theta_2 - L_3\omega_3^2 \text{sen} \theta_3 + L_4\omega_4^2 \text{sen} \theta_4$$

La notación polar del vector de aceleración en el centro de gravedad del eslabón de entrada o motriz, queda definido por la Ecuación (13) y la Ecuación (14):

$$ACG_2Mag = \sqrt{ACG_{2x}^2 + ACG_{2y}^2} \quad (13)$$

$$ACG_2Ang = \arctan\left(\frac{ACG_{2y}}{ACG_{2x}}\right) \quad (14)$$

Donde:

$$ACG_{2x} = -a\alpha_2 \text{sen}(\theta_2 + \gamma_2) - a\omega_2^2 \text{cos}(\theta_2 + \gamma_2)$$

$$ACG_{2y} = a\alpha_2 \text{cos}(\theta_2 + \gamma_2) - a\omega_2^2 \text{sen}(\theta_2 + \gamma_2)$$

La notación polar del vector de aceleración en el centro de gravedad del acoplador o eslabón 3, queda definido por la Ecuación (15) y la Ecuación (16):

$$ACG_3Mag = \sqrt{ACG_{3x}^2 + ACG_{3y}^2} \quad (15)$$

$$ACG_3Ang = \arctan\left(\frac{ACG_{3y}}{ACG_{3x}}\right) \quad (16)$$

Donde:

$$ACG_{3x} = -L_2\alpha_2 \text{sen} \theta_2 - L_2\omega_2^2 \text{cos} \theta_2 - b\alpha_3 \text{sen}(\theta_3 + \gamma_3) - b\omega_3^2 \text{cos}(\theta_3 + \gamma_3)$$

$$ACG_{3y} = L_2\alpha_2 \text{cos} \theta_2 - L_2\omega_2^2 \text{sen} \theta_2 + b\alpha_3 \text{cos}(\theta_3 + \gamma_3) - b\omega_3^2 \text{sen}(\theta_3 + \gamma_3)$$

La notación polar del vector de aceleración en el centro de gravedad del acoplador o eslabón 4, queda definido por la Ecuación (17) y la Ecuación (18):

$$ACG_4Mag = \sqrt{ACG_{4x}^2 + ACG_{4y}^2} \quad (17)$$

$$ACG_4Ang = \arctan\left(\frac{ACG_{4y}}{ACG_{4x}}\right) \quad (18)$$

Donde:

$$ACG_{4x} = -c\alpha_4 \text{sen}(\theta_4 + \gamma_4) - c\omega_4^2 \text{cos}(\theta_4 + \gamma_4)$$

$$ACG_{4y} = c\alpha_4 \text{cos}(\theta_4 + \gamma_4) - c\omega_4^2 \text{sen}(\theta_4 + \gamma_4)$$

IV. Interfaz de usuario

La interfaz hace uso de 3 ventanas: la primera sirve para presentar la aplicación, la segunda para ingresar los valores mínimos de entrada y la tercera ejecuta el código que contiene todas las ecuaciones planteadas en la sección anterior y la cual muestra tanto el diagrama cinemático del mecanismo de 4 barras como los resultados cinemáticos en la posición de interés para el usuario.

IV.1. Ventana solicitando información de entrada

En la Figura 3 se observa la información de entrada necesaria para realizar los cálculos mismos que han sido definidos en la sección II.

Cabe mencionar que debajo de la solicitud de las longitudes de los eslabones hay un botón para ver si el mecanismo cumple o no con la ley de Grashof.

Esta ventana también contempla el hecho de que existen las configuraciones “abierta” y “cruzada” para analizar el mecanismo de 4 barras por lo que a través del menú desplegable se puede seleccionar el tipo de configuración. En lo que respecta a las unidades para la información de entrada, entre corchetes aparecen las unidades solicitadas; siendo “u.l.” unidades de longitudes debido a que se generalizó el hecho de trabajar con los sistemas de medida internacional e inglés y estas mismas saldrán en los resultados de velocidades y aceleraciones en los centros de gravedad de cada eslabón.

IV.2. Ventana mostrando resultados obtenidos

Debido a la cantidad de información resultante esta ventana tiene habilitada la función “scrollable”, que permite desplazarse hacia abajo para ver todos los resultados en el teléfono móvil.

En la parte superior de la Figura 4 se observan 3 barras de desplazamiento cuyo objetivo es escalar y mover el diagrama cinemático del mecanismo de 4 barras que se podrá visualizar automáticamente en el lienzo de color



Figura 3: Ventana de la app: solicitando información de entrada

blanco. Debajo de la zona que contiene la representación gráfica del mecanismo se mostrarán los resultados cinemáticos para posiciones, velocidades y aceleraciones angulares ($\theta_3, \theta_4, \omega_3, \omega_4, \alpha_3$ y α_4), así como también la notación polar para los vectores de velocidad y aceleración que se llevan a cabo en los centros de gravedad de cada eslabón ($Vcg_2, Vcg_3, Vcg_4, Acg_2, Acg_3$ y Acg_4), mismos que están representados por magnitud (Mag) y dirección o ángulo con respecto al eje X en su lado positivo (Ang).

IV.3. Extracto del código de programación

En la Figura 5 se observa el almacenamiento de los datos de entrada en una variable de tipo global denominada *info*, misma que guarda la información de todas las variables de entrada y que será migrada a la programación en la ventana de resultados para su procesamiento a través de las ecuaciones matemáticas planteadas anteriormente.



Figura 4: Ventana de la app para mostrar los resultados cinemáticos

En este código también se lleva a cabo el proceso para definir si las longitudes de los eslabones cumplen con la ley de Grashof a través de la obtención del valor máximo y mínimo de las 4 longitudes para hacer la comparación $s + l \leq p + q$. Cabe señalar que en este apartado también se cuenta con la programación de un menú desplegable para la selección de la configuración abierta o cruzada del mecanismo a través de un spinner.

En lo que respecta a la gráfica del mecanismo de 4 barras, se utilizó la herramienta de canvas (lienzo blanco), en donde a través de las variables globales: *global L1*, *global L2*, *global L3* y *global L4* se colocan los valores de

longitud para cada eslabón, los cuales fueron agregados desde la primera ventana de usuario (ver Figura 3), aquí también se agrega el color con el que deberá aparecer cada valor de longitud en el canvas (ver Figura 6).

La Figura 7 muestra un extracto del código utilizado para calcular las coordenadas que definen el origen de las líneas que representan a cada eslabón en el canvas y que dependen de la información seleccionada por el usuario como: la escala, el desplazamiento en el eje x y el desplazamiento en el eje y, cuyos valores se obtienen de las barras de desplazamiento (ver parte superior de la Figura 4).

En la Figura 8 se observa como ejemplo el código utilizado para el ingreso de las fórmulas (3), (4), (5) y (6) usadas para la obtención de las velocidades angulares de los eslabones 3 y 4 (ω_3 y ω_4) y la velocidad en el centro de gravedad del eslabón 2 a través de su magnitud y dirección; estos resultados son desplegados en la interfaz de usuario a través de etiquetas. El resto de los parámetros cinemáticos se ingresan al código de forma similar, respetando las fórmulas señaladas en la Sección III.

V. Resultados

En lo que respecta al diagrama cinemático del mecanismo de 4 barras, se compararon los resultados de la aplicación móvil con representaciones cinemáticas obtenidos de algunos ejercicios de libro de texto.

A la izquierda de la Figura 9, sobre el lienzo blanco se observan los resultados de los diagramas cinemáticos escalados y centrados por las barras de desplazamiento de la aplicación, como se puede apreciar las representaciones son muy parecidas a las que se obtienen en los bosquejos de los ejercicios c) y f) de la tabla P11-1 de la referencia [9]. Estos ejercicios tienen en común una bancada horizontal, por lo que para comparar representaciones cinemáticas con bancada inclinada se usó el problema propuesto 1 para el mecanismo de 4 barras de la referencia [3] y el ejercicio 16.134 de la referencia [5]. Como se puede observar en la Figura 10, las imágenes de la aplicación (izquierda) son similares a las mostradas en los libros de texto [3] y [5] (derecha).

Cabe mencionar que en los diagramas cinemáticos de la aplicación móvil, la línea de color verde representa la bancada del mecanismo de 4 barras, la línea roja al eslabón motriz o de entrada, la azul al acoplador y la amarilla al eslabón de salida, cuyas longitudes aparecen en la parte superior derecha bajo los mismos colores, mientras que en la parte inferior en color negro, se desglosan algunos datos de entrada como: θ_1 , θ_2 , ω_2 y α_2 .

La finalidad de contar con el diagrama cinemático es que el usuario coteje de manera visual el mecanismo y lo contraste con el que será analizado, ya que con esto se estaría validando el tipo de configuración del mecanismo

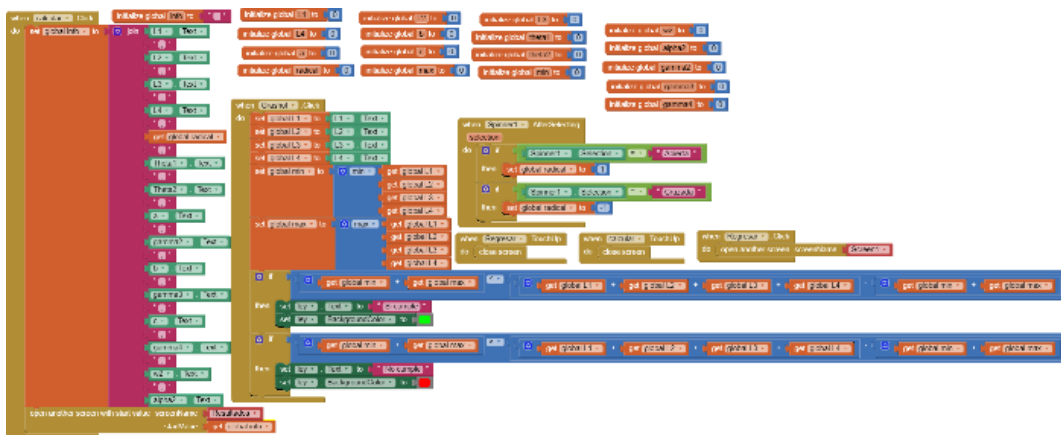


Figura 5: Código para obtener los datos de entrada y verificación de cumplimiento de la ley de Grashof

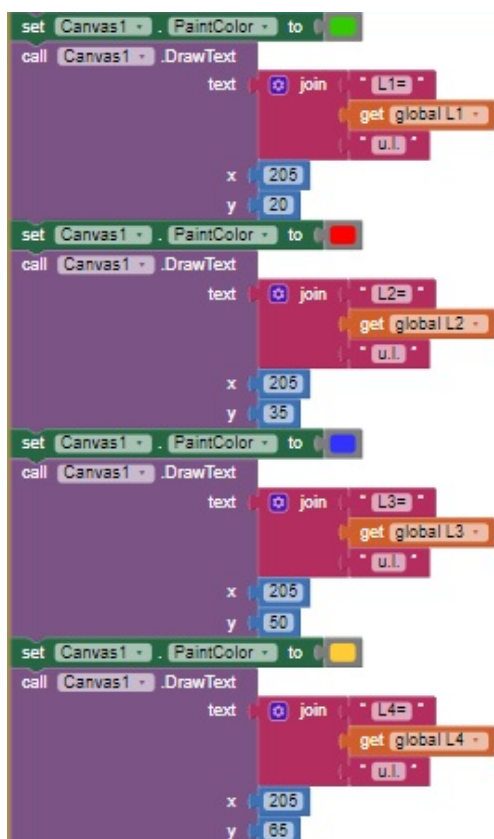


Figura 6: Extracto del código de programación de la información de longitud de eslabones en canvas

de 4 barras (abierta o cruzada).

En cuanto a los resultados para los parámetros cinemáticos, en la Tabla 1 se observa la comparación entre los resultados señalados en el ejercicio c) de la tabla P11-1 de la referencia [9] contra la información obtenida a través de la aplicación móvil, cabe señalar que en el caso de los resultados relacionados con la obtención de algún

ángulo, la aplicación móvil en su algoritmo toma la decisión de mostrar los resultados de 0° a 180° para primer y segundo cuadrante del vector y de 0° a -180° para ángulos del tercer y cuarto cuadrante, por lo que algunos resultados son complementos a 360° y expresados con signo negativo; como se puede apreciar, los resultados son muy similares y se podría decir que la única diferencia es la cantidad de decimales que en este caso la aplicación puede mostrar.

Tabla 1: Comparación de resultados cinemáticos del ejercicio c) [9] y la aplicación móvil

Variable cinemática	Tabla P11-3 ejercicio c) [9]	Aplicación móvil
θ_3	128.70°	128.70457°
θ_4	151.03°	151.02651°
ω_3	16.6rad/s	16.59897rad/s
ω_4	14.13rad/s	14.12955rad/s
$Vcg_2(Mag)$	60in/s	60in/s
$Vcg_2(Ang)$	-50°	-50°
$Vcg_3(Mag)$	191.94in/s	191.93577in/s
$Vcg_3(Ang)$	299.70°	-60.29753°
$Vcg_4(Mag)$	98.91in/s	98.90683in/s
$Vcg_4(Ang)$	241.03°	-118.97349°
α_3	78.78rad/s ²	78.7819rad/s ²
α_4	53.27rad/s ²	53.36894rad/s ²
$Acg_2(Mag)$	1200.84in/s ²	1200.84345in/s ²
$Acg_2(Ang)$	37.85°	37.85241°
$Acg_3(Mag)$	3120.71in/s ²	3120.71276in/s ²
$Acg_3(Ang)$	22.45°	22.44894°
$Ag_4(Mag)$	1446.58in/s ²	1446.58039in/s ²

Lo mismo ocurre con el ejercicio f) de la tabla P11-1 de la referencia [9], cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 2 y en donde los resultados de la aplicación móvil se aprecian en la Figura 4.

Figura 7: Extracto del código de programación para ubicar las coordenadas de inicio de cada eslabón del mecanismo

Figura 8: Extracto del código para las ecuaciones matemáticas que dan solución a las variables cinemáticas

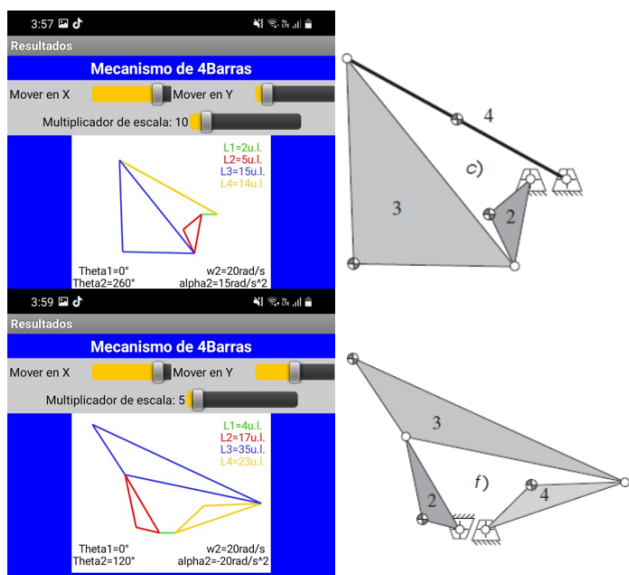


Figura 9: Comparación de diagramas cinemáticos con bancada horizontal

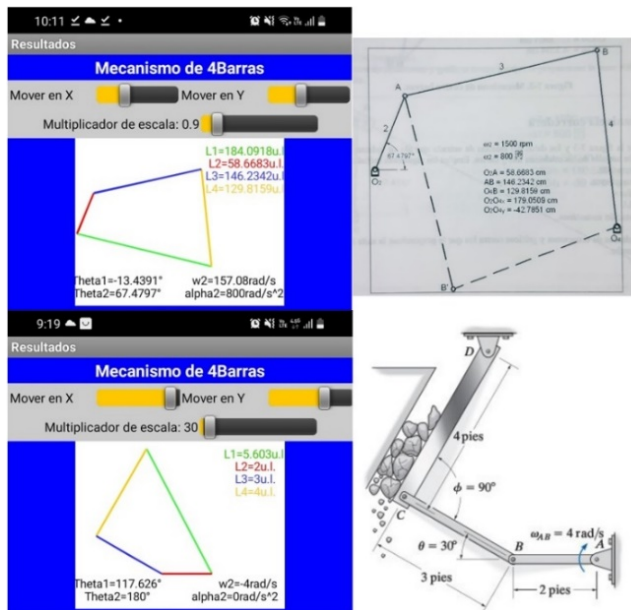


Figura 10: Comparación de diagrama cinemático con bancada inclinada

En lo que respecta a problemas con la bancada inclinada, nuevamente tomaremos como referencia el problema propuesto 1 para mecanismo de cuatro barras de la referencia [3]. En este caso el libro de texto sólo ofrece los resultados de posiciones, velocidades y aceleraciones angulares ($\theta_3, \theta_4, \omega_3, \omega_4, \alpha_3$ y α_4) por lo que serán

las únicas variables a ser comparadas. En la Tabla 3 se encuentran los resultados del ejercicio mencionado.

La referencia [5] sólo ofrece los resultados de los parámetros ω_4 y α_4 para el ejercicio 16.134, mismos que son comparados en la Tabla 4.

Tabla 2: Comparación de resultados cinemáticos del ejercicio f) [9] y la aplicación móvil

Variable cinemática	Tabla P11-3 ejercicio f) [9]	Aplicación móvil
θ_3	348.08°	-11.92054°
θ_4	19.01°	19.01302°
ω_3	18.55rad/s	18.55139rad/s
ω_4	21.4rad/s	21.39765rad/s
$V_{cg2}(Mag)$	120in/s	120in/s
$V_{cg2}(Ang)$	255°	-105°
$V_{cg3}(Mag)$	618.05in/s	618.0499in/s
$V_{cg3}(Ang)$	211.39°	-148.61404°
$V_{cg4}(Mag)$	213.98in/s	213.97648in/s
$V_{cg4}(Ang)$	134.01°	134.01302°
α_3	-101.63rad/s ²	-101.62607rad/s ²
α_4	-150.86rad/s ²	-150.8561rad/s ²
$A_{cg2}(Mag)$	2403in/s ²	2402.99813in/s ²
$A_{cg2}(Ang)$	347.86°	-12.13759°
$A_{cg3}(Mag)$	12064.2in/s ²	12064.19788in/s ²
$A_{cg3}(Ang)$	310.22°	-49.7849°
$A_{g4}(Mag)$	4820.72in/s ²	4820.71283in/s ²
$A_{g4}(Ang)$	242.25°	-117.75089°

Tabla 3: Comparación de resultados cinemáticos del problema propuesto 1 [3] vs la aplicación móvil

Variable cinemática	Problema propuesto 1 [3]	Aplicación móvil
θ_3	12.6758°	12.67585°
θ_4	96.1513°	96.15127°
ω_3	-30.4331rad/s	-30.43309rad/s
ω_4	58.3898rad/s	58.38982rad/s
α_3	5646.5213rad/s ²	5646.52137rad/s ²
α_4	7426.6629rad/s ²	7426.66397rad/s ²

Tabla 4: Comparación de resultados cinemáticos del ejercicio 16.134 [5] vs la aplicación móvil

Variable cinemática	Ejercicio 16.134 [5]	Aplicación móvil
ω_4	-1rad/s	-1rad/s
α_4	10.9rad/s ²	10.92823rad/s ²

VI. Conclusiones

Después de haber llevado a cabo los comparativos de resultados de la aplicación con ejercicios de diferentes fuentes bibliográficas, se observa que la aplicación móvil desarrollada ofrece resultados satisfactorios, por lo que promete ser una tecnología educativa útil para la comprensión del tema relacionado a la cinemática del

mecanismo de 4 barras y en un mundo en donde los estudiantes requieren de un docente disruptivo, esta herramienta puede ser adaptada para generar diversos guiones instruccionales dentro de los procesos de enseñanza aprendizaje para el estudio del mecanismos de 4 barras en los temas de: Ley de Grashof, diagrama cinemático y análisis cinemático.

Una ventaja que tiene la aplicación es la capacidad que tiene no sólo de obtener posiciones, velocidades y aceleraciones angulares, sino que también es capaz de calcular las velocidades y aceleraciones en los centros de gravedad, mismos que son necesarios para posteriormente hacer un análisis de fuerzas a través del método Newtoniano o por la ecuación de energía para obtener el par de torsión motriz en ese instante del mecanismo, algo que será tomado en cuenta para un trabajo a futuro.

Otro aspecto a considerar es la facilidad para poder graficar el diagrama cinemático en base a las barras deslizable de escala y movimiento x-y para centrar la representación.

Referencias

- [1] Arthur G Erdman et al. *Diseño de mecanismos: análisis y síntesis*. 3.ª ed. México: Pearson educación, 1998.
- [2] Hamilton Mabie y Charles F. Reinholtz. *Mecanismos y dinámica de maquinaria*. 4.ª ed. México: Limusa-Wiley, 2005.
- [3] Romy Pérez. *Análisis de mecanismos y problemas resueltos*. México: Alfaomega, 2006.
- [4] David H Myszka. *Máquinas y mecanismos*. 4.ª ed. Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson Educación, 2012.
- [5] Russell. C. Hibbeler. *Ingeniería mecánica: dinámica*. 12.ª ed. México: Pearson Educación, 2010.
- [6] William F Riley y Leroy D Sturges. *Ingeniería mecánica. Dinámica*. España: Reverte, 2001.
- [7] Jaan Kiusalaas y Andrew Pytel. *Dinámica - Ingeniería Mecánica*. 2.ª ed. España: International Thomson Editores, 1999.
- [8] López Cajún y Marco Ceccarelli. *Mecanismos: fundamentos cinemáticos para el diseño y optimización de maquinaria*. México: Trillas, 2008.
- [9] Robert L Norton. *Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines*. McGraw-Hill/Higher Education, 2008.
- [10] MIT App Inventor. URL: <http://appinventor.mit.edu/>.

Designing a Persuasive Serious Videogame to promote Sustainable Familiar Self-Sufficiency

Diseñando un videojuego serio persuasivo para fomentar el autoabasto familiar sustentable

Carlos Alberto García de Alba-Chávez^{*1}, Ismael Edrein Espinosa-Curiel², and Rosa María Michel-Nava¹

¹ *Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Tecnológico 100, Ciudad Guzmán, Jalisco, 49100.*

carlos.alberto.gdea.ch@gmail.com, rosa.mn@cdguzman.tecnm.mx

² *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Unidad de Transferencia Tecnológica Tepic, Andador 10 entre calles 3 y 4, Ciudad del Conocimiento, Tepic, Nayarit, México, 63173.*

ecuriel@cicese.edu.mx

Abstract

Sustainable family self-sufficiency is an agroforestry system that can provide many benefits to the food security landscape in Mexico. The task of educating and persuading the interested party to start a family garden, are challenges that require a mechanism that allows exploring and practicing the activities that managing a garden implies. In addition, the mechanism must be able to change the user's attitude and intention towards starting a real family garden. One media that integrates solutions to these challenges is the seriously persuasive simulation video game. In the present work, we describe the design process of "Farmily", a serious persuasive videogame to promote sustainable family self-sufficiency.

Keywords— Persuasive Computing, Serious Games, Family Garden

Resumen

El autoabasto familiar sustentable es un sistema agroforestal que puede brindar muchos beneficios al panorama de seguridad alimentaria en México. La labor de educación, así como la tarea de persuadir al interesado a iniciar un huerto familiar, son retos que requieren de un mecanismo que permita explorar y practicar las actividades que implica el mantenimiento de un huerto. Además, el mecanismo debe ser capaz

de cambiar la actitud y la intención del usuario hacia iniciar un huerto familiar real. Uno de los medios que integra soluciones a estos retos es el videojuego serio persuasivo de simulación. En el presente trabajo, se describe el proceso de diseño de "Farmily", un videojuego serio persuasivo para fomentar el autoabasto familiar sustentable.

Palabras clave— Cómputo persuasivo, Juegos serios, Huerto familiar

I. Introducción

La agricultura de autoabasto familiar se define como aquella práctica de cultivo de tierra familiar, comunitaria, campesina, indígena o de pequeños productores, que se caracteriza por la fuerza de trabajo familiar y donde la producción es realizada por el mismo núcleo que lo integra [1].

En la actualidad, la agricultura de autoabasto familiar ha tomado gran importancia como estrategia global para apoyar a que los países alcancen la soberanía alimentaria. En México, se estima que hay una carencia alimentaria de un 24.9 %, además, los programas de ayuda alimentaria benefician a cuatro de cada 10 hogares carentes de acceso a la alimentación [2] por lo que es imperativa la promoción de sistemas agronómicos como el autoabasto familiar para apoyar a la seguridad alimentaria nacional.

La técnica que da sustento a la práctica de autoabasto familiar es conocida como el huerto familiar. Es un sistema agroforestal en asociación íntima con cultivos anuales, perennes y animales, en el área alrededor de las casas,

* Autor de correspondencia

el cual es manejado por mano de obra familiar [3]. El principal objetivo del huerto familiar es la producción de alimentos en casa [4]. A pesar de los múltiples beneficios provistos por los huertos familiares, se encuentran en proceso de extinción en varias partes de México [5].

El huerto familiar plantea una serie de retos durante su ciclo de vida, debido a que requiere de mucho conocimiento, mucho apoyo de parte de la familia y una inversión significativa de recursos, tales como el tiempo, el esfuerzo y el dinero. Además, los resultados no son inmediatos, sino que se dan a conocer después de un período considerable de tiempo. Esto ralentiza la respuesta del usuario para realizar ajustes que lleven a un huerto de mayor calidad.

Todos estos factores limitan la posibilidad de comenzar un huerto y pueden ser altamente desmotivadores para el interesado. Además, podrían llevar a que los usuarios que ya tienen un huerto puedan llegar a abandonarlo. Si el usuario no tiene un medio eficaz para explorar, experimentar y practicar las actividades de un huerto familiar, la capacidad de reproducción se ve severamente afectada y se omite un proceso clave para el correcto aprendizaje [6].

A la luz del problema de la falta de personas interesadas en iniciar un huerto familiar y los múltiples beneficios que conlleva este sistema de producción al individuo, a su núcleo familiar, a la comunidad y a la seguridad alimentaria nacional, un videojuego serio persuasivo para fomentar el autoabasto familiar sustentable a través de los huertos familiares podría educar, persuadir y cambiar la percepción de las personas; incrementando la intención de iniciar y administrar un huerto real.

II. Antecedentes y trabajos relacionados

La agricultura es una temática presente desde los primeros videojuegos [7]. Actualmente existe un gran número de videojuegos comerciales cuya temática se relaciona con la agricultura, como: *Stardew Valley*, *My Time at Portia*, *Farmville* y *Harvest Moon* [8]. Estos productos tienen algunas características en común con el videojuego de este trabajo, debido a que tienen una simulación acelerada del crecimiento de las hortalizas y una simplificación del proceso de cultivo. Sin embargo, están diseñados únicamente como sistemas de entretenimiento interactivo, por lo que su objetivo principal es entretener.

Farming Simulator es un ejemplo de un videojuego comercial relacionado a agricultura con mucho potencial educacional, dado que contiene un nivel muy sofisticado de simulación y un acercamiento muy fiel a la realidad [9]. A pesar de esto, las mecánicas de juego están más enfocadas al cultivo intensivo y de alta extensión de terreno, por lo que el universo de conocimiento es muy basto.

La expresión juegos persuasivos es un término que clasifica a los juegos que transmiten mensajes, elaboran argumentos y convencen a los jugadores para que adopten un punto de vista específico o cambien sus creencias y comportamientos sobre el mundo [10]. Este concepto se integra con el de videojuego serio, el cual tiene un propósito más allá de entretener y en el contexto de este problema, tiene como objetivo el educar.

En el área académica, el uso de videojuegos serios para educación, adquisición de conocimientos y persuasión se encuentra bien establecido. Se han encontrado más de 200 artículos que demuestran el impacto positivo de los videojuegos en el aprendizaje, adquisición de habilidades y participación [11].

Además, existen estudios en los que los videojuegos serios persuasivos de simulación han apoyado de manera significativa en el cambio de actitud y percepción en temas como los estereotipos [12], tabaquismo [13], empatía hacia personas sin hogar [14], contaminación ambiental [15], adherencia a medicación para enfermedades mentales [16] y desarrollo sustentable [17].

Hay múltiples ejemplos de videojuegos serios enfocados a educar acerca sobre agricultura y el cultivo de hortalizas, tales como: *SEGAE* [18], *Crownking* [19], *Agrivillage* [20] y *Farmtasia* [21]. Estos trabajos están enfocados en la labor agrícola sustentable y la agroecología, mostrando resultados positivos en adquisición de conocimientos sobre prácticas agrícolas y conciencia acerca del impacto ambiental de dichas prácticas.

Los estudios anteriores reportan una percepción positiva de los usuarios hacia los videojuegos como herramienta educativa, lo cual constituye un panorama prometedor para continuar produciendo títulos con esta temática.

El videojuego diseñado en el presente trabajo está enfocado exclusivamente en el diseño y mantenimiento de huertos familiares, lo cual permite ofrecerle al usuario una simulación y mecánicas de juego que le brinden conocimiento y experiencia relevante al sistema agroforestal en cuestión. Además de esto, el potencial persuasivo de la propuesta se encuentra sustentado en el diseño de un sistema persuasivo que contiene técnicas validadas.

III. Materiales y métodos

Dado el enfoque persuasivo del desarrollo y la necesidad de producir un videojuego serio, se decidió implementar una mezcla de varias metodologías. En primera instancia y como metodología general del proyecto, se utilizó el método descrito por Oinas-Kukkonen y Harjuma para diseño de sistemas persuasivos, que consta de cuatro pasos generales [22]: (1) Análisis del contexto de persuasión y selección de los principios de diseño persuasivo, (2) Definición de requerimientos de software, (3) Implementación de software y (4) Cambio en actitud o

comportamiento.

Para llevar a cabo los pasos 2 y 3 de la metodología de Oinas-Kukkonen, se optó por utilizar una metodología híbrida basada en EGDA (siglas en inglés de *Educational Game Development Approach*), que consta de 4 pasos [23]: (1) Análisis, (2) Diseño de juego, (3) Implementación y (4) Aseguramiento de calidad. La anterior fue mezclada con una metodología llamada P-III, en donde se sustituyen los pasos de análisis de EGDA con los contenidos en P-III: [24]: (1) Análisis de usuario y tareas, (2) Diseño participativo, (3) Definición del concepto del juego y (4) Discusión con expertos en la materia.

IV. Proceso de diseño

IV.1. Análisis del contexto de persuasión y usuarios

Comenzando el proceso de diseño, se realizó un análisis del contexto de persuasión desde la intención, el contexto de uso y la estrategia. El sistema persuasivo que soporta al videojuego se diseñó para ser autógeno, es decir, que la experiencia de usuario sea tan gratificante como para generar interés en el usuario y que la continúe utilizando.

Se estableció que la intención del sistema es el persuadir al usuario para que muestre intención de iniciar o continuar un huerto familiar. Esto se realizará a través de un cambio de actitud, en donde se pretende que vea al huerto como un sistema útil, benéfico e importante. Además, se desea cambiar la percepción acerca de que tan eficaz es el usuario para administrar o iniciar un huerto.

Respecto al contexto de uso y contexto del usuario, se estipuló que el usuario objetivo se encuentra dentro del rango de edad de 25 a 50 años, categoría que cubre tanto la mediana de edad como la mayoría de la población en edad económicamente productiva (15 a 64) [25]. Además, este rango engloba aproximadamente el 64 % de los jugadores [26].

Los usuarios límites en el rango de edad del usuario objetivo no presentan diferencias cognitivas, psicológicas o físicas relevantes al objetivo del estudio. Además, se estableció que el contexto tecnológico del sistema debe de estar enfocado en dispositivos móviles por las facilidades que ofrece la plataforma en adquisición e interacción.

Los mensajes del sistema persuasivo serán enviados mediante una ruta directa e indirecta. Es decir, se dirigirá apelando hacia el razonamiento y la inteligencia del usuario, pero también hará uso de elementos gráficos que apoyen los objetivos de persuasión.

IV.2. Diseño de elementos persuasivos

Debido a que el producto final será un videojuego, se tomó la decisión de tomar los principios de reducción, tunelización, adaptación, simulación y ensayo [22] como

la base de la interacción entre el sistema persuasivo y el usuario. El resto de técnicas se diseñaron alrededor de estos principios. En la Sección V.3 se describen a detalle cada una de las técnicas de persuasión del videojuego.

IV.3. Fundamentación del juego

El siguiente paso constó en generar una base de conocimiento que le da fundamento al juego. Para lograrlo, se investigó en diversas fuentes de información, tales como: manuales, guías, libros y artículos acerca de los huertos familiares. Se recopiló información acerca de cual es el funcionamiento, las etapas, las actividades, los riesgos y los aspectos a considerar para iniciar y administrar un huerto.

Una vez que se formuló la base de conocimiento, se tuvo una reunión de validación de conocimientos con 2 expertos en agricultura y horticultura, quienes analizaron la información y realizaron una precisión y priorización del contenido.

IV.4. Diseño del videojuego

El objetivo de esta fase fue diseñar el videojuego de acuerdo a la base de conocimiento producida en la fase anterior.

Se tuvieron 5 sesiones de diseño participativo con el equipo de diseño, el cual está conformado por un diseñador, una experta en educación y un experto en interacción hombre-máquina. El resultado de estas sesiones fue el primer prototipo del videojuego. Una vez finalizado, se tuvo una sesión de diseño participativo con el equipo de diseño y las expertas para presentar las mecánicas del primer prototipo. El resultado de esta sesión fueron una serie de observaciones y recomendaciones en temas como la estructura de los niveles, los objetivos del jugador y algunos elementos de simulación.

Debido a las observaciones generadas en la sesión anterior, se tuvieron 5 sesiones más con el equipo de diseño, las cuales produjeron un segundo prototipo. Este segundo prototipo fue abordado durante una segunda sesión de diseño participativo con el equipo de diseño y las expertas. Esta sesión tuvo como resultado una serie de observaciones respecto a la simulación de plagas y los nutrientes en los cultivos.

Se celebraron 6 sesiones más con el equipo de diseño, lo cual generó un tercer prototipo. Este prototipo fue presentado en una tercera sesión de diseño participativo con las expertas, quienes ratificaron que el videojuego contiene una simulación cercana a la realidad de los huertos familiares. Sin embargo, se hizo la observación de que el juego no contenía ningún tipo de simulación familiar, el cual es un componente esencial de este tipo de huertos. A partir de la observación anterior, se diseñó una cuarta versión del videojuego.

V. Resultados

El videojuego diseñado en este trabajo de investigación lleva por nombre “Farmily”. Es un videojuego de simulación para dispositivos móviles con sistema operativo Android. El objetivo principal del juego es enseñar cómo alcanzar la auto sustentabilidad alimentaria familiar a través del diseño y mantenimiento de un huerto familiar. Los objetivos secundarios constan de promover las técnicas que permitan al usuario mejorar la economía, la salud y la integración familiar a través del huerto.

V.1. Técnicas de persuasión integradas

Los elementos de simulación y las acciones que lleva a cabo el jugador dentro del producto contienen una serie de técnicas basadas en los principios persuasivos. A continuación, se presenta una lista de las técnicas persuasivas implementadas en “Farmily”, de acuerdo a la categoría a la que pertenecen.

1. Soporte de tareas primarias

- a) Reducción: el videojuego permite experimentar las actividades del huerto familiar de forma virtual, lo cual incrementa el costo/beneficio de administrar un huerto. Esto permitirá que el usuario pueda comprender de forma más rápida la relación entre las variables más importantes.
- b) Tunelización: el sistema guía al usuario a través de la experiencia de diseñar y administrar un huerto familiar. Lo anterior permite que el usuario pueda adquirir las habilidades y el conocimiento necesario de manera paulatina y ordenada.
- c) Confección: el sistema proveerá información pertinente de acuerdo al nivel de conocimiento del usuario, el cual aumentará con el tiempo de juego.
- d) Auto monitorización: el sistema de calificación y recomendaciones permite que el usuario conozca su desempeño y cómo puede mejorar. Esto permitirá que el usuario sea capaz de medir su rendimiento y haga ajustes pertinentes. Una muestra palpable de progreso lo motivará a seguir aprendiendo y practicando.
- e) Simulación: el videojuego presenta simulaciones apegadas a la realidad del huerto familiar. Lo anterior permite que el conocimiento pueda ser fácilmente transferible a un huerto familiar real, lo que puede llevar a aumentar la intención del usuario para iniciar uno.
- f) Ensayo: el sistema permite practicar todas las labores, tareas y actividades relacionadas con

el objetivo de implementar un huerto familiar. La repetición constante, aunada a la auto-monitorización, motivan al usuario a continuar mejorando su desempeño.

2. Soporte al diálogo

- a) Sugerencia: el sistema de recomendaciones ofrece consejos para mejorar la calidad del huerto y la calificación final. Se pretende que la sugerencia constante de técnicas que le permitan mejorar su calificación y por ende, los objetivos principales y secundarios, refuerzan en el usuario su percepción de auto-eficacia y su intención para llevar lo aprendido al mundo real (Figura 4).
- b) Elogio: el sistema de rango le ofrece al jugador una recompensa motivante para mejorar el rendimiento y continuar jugando.
- c) Recompensas: el sistema ofrece recompensas en forma de puntos, aumento de rango, desbloqueo de niveles y dinero virtual, las cuales motivan al jugador para que continúe utilizando el videojuego.
- d) Similitud: el sistema imita las actividades y comportamientos que haría el usuario en un huerto familiar real.

3. Soporte a la credibilidad del sistema

- a) Confiabilidad: la base de conocimiento que da sustento al videojuego está compuesta por información verídica.
- b) Verificabilidad: la información contenida en el videojuego es fácilmente verificable y trazable. Cuando se muestra información, se citan las fuentes. Esto permitirá que el usuario disipe cualquier duda acerca de la veracidad de la información, las técnicas y las actividades plasmadas en la simulación del videojuego.

4. Soporte social

- a) Comparación social: la tabla de líderes permite que el usuario pueda comparar rendimientos y observar el progreso de otros jugadores. Un ambiente competitivo y social propicia a que el jugador se enganche en el juego y quiera seguir aprendiendo.
- b) Reconocimiento: el sistema reconoce a los mejores jugadores a través de la tabla de líderes. Un ambiente que propicie el reconocimiento es altamente motivante para los jugadores.

V.2. Descripción general

El usuario toma el rol de un jefe de familia que comienza un huerto familiar para alcanzar el autoabasto alimenticio. El autoabasto se representa a través de una

serie de requerimientos alimenticios. Además de esto, tiene una serie de objetivos secundarios que se encuentran íntimamente asociados a los beneficios de tener un huerto familiar:

- Maximizar el ahorro económico generado por el autoabasto familiar.
- Maximizar la salud generada por el uso de insumos y productos orgánicos.
- Lograr una participación equitativa de los miembros de la familia en las labores del huerto.

El juego se encuentra dividido en niveles. Cada uno de los niveles requiere realizar una serie de actividades relacionadas con el huerto familiar en compañía de personajes simulados que fungen como miembros de la familia del jugador. El jugador define cuales tareas otorgarle a cada miembro de la familia.

V.3. Secciones del videojuego

“Family” se divide en seis secciones:

- Registro de usuario: la primera vez que se juega, “Farmily” requiere que el usuario se registre con un nombre de usuario y edad.
- Pantalla principal: muestra el título del juego y funge como puente para acceder al resto del juego.
- Mapa de niveles: el usuario puede escoger el nivel a jugar. Si el jugador selecciona un nivel que previamente había guardado, puede escoger entre continuar la partida o comenzar desde cero.
- Niveles de juego: el jugador comienza el nivel e interactúa con los elementos de simulación. Durante esta sección, el jugador adquiere el conocimiento base sobre las actividades que tiene que realizar en un huerto. Al finalizar el nivel, se califica su rendimiento y se le otorgan recomendaciones para mejorar.
- Tabla de líderes: el usuario puede ver las calificaciones de otros jugadores y comparar con las suyas.
- Configuración: el usuario puede ajustar el volumen del juego y modificar su nombre de usuario.

V.4. Niveles

El videojuego está compuesto por bloques narrativos. Cada uno de los bloques cuenta la historia de una familia ficticia que comienza un huerto familiar para cubrir sus necesidades de abasto alimenticio. Un bloque se compone de entre 3 y 5 niveles.

Al terminar cada nivel se otorga una calificación entre 0 y 5 estrellas, la cual es visible por todos los jugadores en la tabla de líderes.

V.5. Elementos del ciclo de juego

Cada nivel está compuesto por 6 elementos:

1. Terreno: el usuario podrá ver la representación de su terreno y realizará las labores culturales de: preparación del terreno, siembra, riego, fertilización, aplicación de plaguicidas y cosecha (figuras 1 y 2).



Figura 1: Prototipo de la escena de preparación de terreno



Figura 2: Prototipo de la escena para labores culturales

2. Almácigos: el usuario podrá ver la representación de los almácigos (contenedores en los que la semilla germina para posteriormente transferirla al terreno).
3. Compostaje: el usuario podrá realizar la labor cultural de producción de compostaje.
4. Tienda: el usuario podrá comprar insumos.
5. Inventario: el usuario podrá ver los insumos que ha comprado.
6. Cosecha: el usuario podrá consumir su cosecha o vender los excedentes.

V.6. Mecánicas centrales de simulación

El juego simula los siguientes elementos del huerto familiar (Tabla 1).

Tabla 1: Elementos de la simulación en “Farmily”

Componente	Elementos a Simular
Terreno	1. Condiciones de terreno
	2. Nutrientes
	3. Humedad
Maleza	1. Ciclo de vida
Plantas	1. Ciclo de vida
	2. Estado de salud
	3. Rendimiento de producción
Tiempo y clima	1. Días
	2. Temporadas
	3. Temperatura
	4. Radiación
Plagas	1. Ciclo de vida
	2. Estado de salud
Simulación económica	1. Compra de insumos
	2. Venta de excedentes
Dinámica familiar	1. Miembros de la familia
	2. Asignación de actividades
Compostaje	1. Ciclo de vida
	2. Humedad
	3. Dureza

- Compra de insumos
- Venta de excedentes
- Consumo de cosecha

Al final del nivel, el desempeño del usuario es calificado de acuerdo al porcentaje de cumplimiento de los objetivos y se muestran las estadísticas más relevantes de la partida (Figura 3). Además, al finalizar el nivel recibirá recomendaciones para mejorar su desempeño (Figura 4).

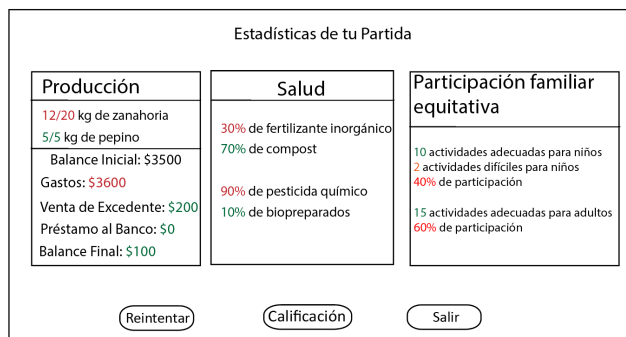


Figura 3: Prototipo de la pantalla de estadísticas

V.7. Hortalizas a simular

Se seleccionaron 12 hortalizas que forman parte del grupo de alimentos recomendables para consumo cotidiano [27] y se recopiló información referente a los requerimientos nutricionales, de siembra, de mantenimiento y rendimiento por metro cuadrado. Las hortalizas son: acelga, brócoli, calabacita, cebolla, chayote, chícharo, chile, frijol, jitomate, lechuga, pepino y zanahoria.

V.8. Mecánicas centrales de juego

Dentro del ciclo de juego, el usuario será capaz de realizar una serie de actividades culturales dentro de la simulación del huerto con el objetivo de alcanzar el autoabasto familiar. Los objetivos secundarios son maximizar la producción, maximizar la distribución equitativa de tareas y minimizar los costos de mantenimiento del huerto.

A continuación, se presentan cuales son las actividades generales que el usuario es capaz de realizar dentro del ciclo de juego:

- Preparación del terreno
- Siembra directa
- Siembra indirecta
- Fertilización
- Riego
- Aplicación de plaguicidas
- Cosecha



Figura 4: Prototipo de la pantalla de recomendaciones

Cuando un jugador finaliza un nivel, su calificación se hace pública a través de la tabla de líderes y todos los jugadores podrán ver en que posición se encuentran respecto al resto.

V.9. Análisis ético

Se desarrolló un análisis ético del videojuego de acuerdo a la metodología descrita por Fogg [28], la cual analiza tres componentes: (1) Intenciones, (2) Métodos de persuasión y (3) Consecuencias y resultados previstos. Después de realizar el análisis, se llegó a la conclusión que el desarrollo del proyecto es ético.

V.10. Escenario de uso

A continuación se describirá un escenario de uso del videojuego con el objetivo de exponer el flujo de interac-

ción presente en el videojuego.

El usuario inicia el videojuego y juega el nivel 10, el cual comienza con un terreno de 5 metros cuadrados en el que toma el rol del jefe de familia de los “Gómez”. La familia está compuesta por el usuario, un adolescente y un niño.

El terreno no está preparado, por lo que el usuario selecciona al jefe de familia, quien limpia el terreno a través de las herramientas de pala y machete. Posteriormente, selecciona a su hijo adolescente, el cual usa el azadón y la regadera para preparar la tierra y reblandecer el terreno. Una vez que el terreno está preparado, accede a la tienda y compra semillas de zanahoria.

A continuación, selecciona las semillas y se las da al adolescente de la familia, quien las coloca en cada uno de los espacios de la cuadrícula de terreno. Posteriormente, selecciona al niño, quien las humedece con la herramienta de riego.

El usuario selecciona la cantidad de días que desea simular. Repite este ciclo varias ocasiones, dando mantenimiento junto con la familia simulada hasta que se da cuenta que el terreno plantado tiene déficit nutricional. El jugador aplica fertilizante inorgánico en el terreno que lo requiere y continúa jugando. En el día 70, aparece una plaga masticadora en un metro cuadrado del huerto, pero el usuario no coloca ningún tipo de plaguicida.

Poco tiempo después, se da cuenta de que ese metro cuadrado de zanahorias ha muerto y la plaga se extendió hacia otros dos metros cuadrados. Decide comprar un bio-preparado y lo aplican. Después de dos semanas, la plaga desaparece.

Se cumple el período de crecimiento de la zanahoria. La cosecha con ayuda de la familia, la consume y termina la partida.

El usuario pasa hacia la pantalla de fin de nivel y recomendaciones, en donde recibe una calificación y regresa al menú de selección de nivel.

VI. Conclusiones

El presente artículo describe el proceso de diseño de “Farmily”, un videojuego serio persuasivo para fomentar el autoabasto familiar sustentable a través de huertos familiares. Para diseñar “Farmily” se fusionaron metodologías de diseño de videojuegos y sistemas persuasivos, y se utilizó un enfoque participativo. “Farmily” integra conocimiento sobre huertos familiares y técnicas persuasivas, los cuales están fundamentados en la literatura y validados por expertos del área.

Como trabajo futuro se planea implementar el videojuego en el motor gráfico Unity (<https://unity.com>) y posteriormente, realizar una evaluación de la usabilidad, experiencia de usuario y el efecto que tiene el juego en el conocimiento, la actitud, la autoeficacia y la intención

de iniciar un huerto familiar.

VII. Agradecimientos

Gracias al Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán y a CICESE UT3 por su apoyo durante el desarrollo del artículo. Además, agradecemos a Conacyt por el apoyo económico proporcionado durante el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] Encolombia. *Agricultura Familiar*. URL: <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agricultura-familiar>.
- [2] Nuria Urquía-Fernandez. *La seguridad alimentaria en México*. 2014. URL: <https://www.scielosp.org/article/spm/2014.v56suppl1/s92-s98/>.
- [3] Emanuel Torquebiau. «Are tropical agroforestry home gardens sustainable». En: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 41.2 (1992), págs. 189-207. DOI: 10.1016/0167-8809(92)90109-0.
- [4] Secretaría del Medio Ambiente Ciudad de México. *Guía de Huertos Urbanos*. 2016. URL: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/flippingbook/guia-huertos-urbanos>.
- [5] Alba González-Jácome. *Del huerto a los jardines y vecindades: procesos de cambio en un agroecosistema de origen antiguo*. 2012.
- [6] Jeremy Sutton. *What Is Bandura's Social Learning Theory? 3 Examples*. 2021. URL: <https://positivepsychology.com/social-learning-theory-bandura>.
- [7] Acriticalhit! *The Sumerian Game: The Most Important Video Game You've Never Heard Of*. 2019. URL: <https://www.acriticalhit.com/sumerian-game-most-important-video-game-youve-never-heard/>.
- [8] Jack Pursey. *15 Best Farming Games Of All Time*. 2021. URL: <https://gamerant.com/best-farming-games-all-time/>.
- [9] Giants Software. *Farming Simulator 2022*. 2021. URL: <https://farming-simulator.com/about.php>.
- [10] Gabrielle Trépanier-Jobin. «Differentiating Serious, Persuasive, and Expressive Games». En: *Exploring the Frontiers of Digital Gaming* (2016), págs. 107-128.

- [11] Thomas Connolly y col. «A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games». En: *Computers Education* 59.2 (2012), págs. 661-686. DOI: 10.1016/j.compedu.2012.03.004.
- [12] Saleem Alhabash y Kevin Wise. «Playing their game: Changing stereotypes of Palestinians and Israelis through videogame play». En: *New Media Society* 17.8 (2014), págs. 1358-1376. DOI: 10.1177/1461444814525010.
- [13] Rilla Khaled y col. «A Qualitative Study of Culture and Persuasion in a Smoking Cessation Game». En: *Persuasive Technology*. 2008, págs. 224-236. DOI: 10.1007/978-3-540-68504-3_20.
- [14] Dana N. Ruggiero. «Spent: changing students' affective learning toward homelessness through persuasive video game play». En: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2014, págs. 3423-3432. DOI: 10.1145/2556288.2557390.
- [15] Jesse Fox y col. «Using a serious game to communicate risk and minimize psychological distance regarding environmental pollution». En: *Telematics and Informatics* 46 (2020). DOI: 10.1016/j.tele.2019.101320.
- [16] Kathlyne Dupuis-Maurin y col. «Use of a serious game to strengthen medication adherence in euthymic patients with bipolar disorder following a psychoeducational programme: A randomized controlled trial». En: *Journal of Affective Disorders* 262.1 (2020), págs. 182-188. DOI: 10.1016/j.jad.2019.10.008.
- [17] Lucia Gatti, Markus Ulrich y Peter Seele. «Education for sustainable development through business simulation games: An exploratory study of sustainability gamification and its effects on students' learning outcomes». En: 207.10 (2019), págs. 667-678. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.130.
- [18] Julia Jouan y col. «SEGAE: An online serious game to learn agroecology». En: *Agricultural Systems* 191 (2021), pág. 103145. ISSN: 0308-521X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103145>.
- [19] Róbert Szilágyi y col. «Development of Farm simulation application, an example for gamification in higher education». En: *Journal of Agricultural Informatics* 8.2 (2017). DOI: 10.17700/jai.2017.8.2.373. URL: <https://magisz.org/journal/index.php/jai/article/view/373>.
- [20] Panita Yongyuth y col. «AgriVillage: 3D Multi-Language Internet Game for Fostering Agriculture Environmental Awareness». En: *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*. 2010, págs. 145-152. DOI: 10.1145/1936254.1936280. URL: <https://doi.org/10.1145/1936254.1936280>.
- [21] Kevin K. F. Cheung y col. «FARMTASIA: an online game-based learning environment based on the VI-SOLE pedagogy». En: *Virtual Reality* 12.1 (2008), págs. 17-25. DOI: 10.1007/s10055-008-0084-z.
- [22] Harri Oinas-Kukkonen y Marja Harjumaa. «Persuasive Systems Design: Key Issues, Process Model, and System Features». En: *Communications of the Association for Information Systems* 24.28 (2009). DOI: 10.17705/1CAIS.02428.
- [23] Javier Torrente y col. «Development of Game-Like Simulations for Procedural Knowledge in Healthcare Education». En: *IEEE Transactions on Learning Technologies* 7.1 (2014), págs. 69-82. DOI: 10.1109/TLT.2013.35.
- [24] Vero Vanden Abeele y col. «P-III: A Player-Centered, Iterative, Interdisciplinary and Integrated Framework for Serious Game Design and Development». En: *Serious Games: The Challenge*. Ed. por Stefan De Wannemacker, Sylke Vandercruysse y Geraldine Clarebout. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, págs. 82-86. DOI: 10.1007/978-3-642-33814-4_14.
- [25] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Edad mediana por entidad federativa, serie de años censales de 1995 a 2020*. 2020. URL: https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion_Poblacion_04_bb9a3db4-4c69-4231-aaaf-abef21dda472&idrt=123&opc=t.
- [26] Entertainment Software Association. *2020 Essential Facts About the Video Game Industry*. 2020. URL: https://www.theesa.com/wp-content/uploads/2020/07/2020-ESA-Essential-facts_070820_Final_lowres.pdf.
- [27] T. Shamah-Levy y col. *Encuesta nacional de Salud y Nutrición 2018-2019: Resultados Nacionales*.
- [28] B.J. Fogg. *Persuasive Technology. Using Computers to Change What We Think and Do*. 2003.

Static postural assessment system with image processing

Sistema de evaluación postural estático con procesamiento de imágenes

Britzeth M. Córdova Interiano^{*1}, Kevin Villatoro Sánchez¹, Gerardo J. Gutiérrez Camacho¹, Gerardo Velázquez Hernández¹, and D.P. Martínez-Cancino¹

¹Universidad Politécnica de Chiapas,

Carretera Tuxtla Gutierrez. - Portillo Zaragoza Km 21+500, Las Brisas, Suchiapa, Chiapas, México, 29150.

{cordovabritzeth, mck2vs8}@gmail.com, gerard.gtz@hotmail.com, {gvelazquez,dmartinez}@ib.upchiapas.edu.mx

Abstract

A good body posture means that there is a myofascial balance between the different myofascial chains, which allows activities to be carried out with greater efficiency, in addition to avoiding alterations in the human body. In the university students case, that perform constant and repetitive activities, such as remaining in a state of prolonged sitting, which together with other factors cause the development of dysfunctional postural patterns. A Static Postural Evaluation System was created capable of measure diameters and lengths of segments, angles and detect the affected myofascial chain. The objective of this system is to help the doctor in the evaluation, determine the chain of injury and record the identified postural disorder in the clinical file. The processing is done in real time, with the images obtained from the patient in a standing position from a biplanar evaluation. The analysis is quantitative and it is performed using an algorithm that detects bone identifiers through binary image processing. It was observed that the chain of injury that prevails in university students was that of inspiration and opening. This assessment tool allows the doctor to make a precise and quick postural diagnosis in order to be able to follow up accordingly, and thus provide preventive and/or corrective treatment to avoid degenerative diseases.

Keywords— binary processing, injury chain, standing

Resumen

Una buena postura corporal significa que existe un balance miofascial equilibrado entre las diferentes cadenas miofasciales, lo que permite realizar actividades con mayor eficiencia y además evitar alteraciones en el cuerpo humano. En el caso de los estudiantes universitarios, realizar actividades constantes y repetitivas como permanecer en estado de sedestación prolongada, junto a otros factores, provocan el desarrollo de patrones posturales disfuncionales. Se creó un Sistema de Evaluación Postural Estático capaz de medir diámetros y longitudes de segmentos, ángulos y detectar la cadena miofascial afectada. El objetivo de este sistema es servir de ayuda al médico en la evaluación, determinar la cadena lesional y registrar en el expediente clínico el trastorno postural identificado. El procesamiento se realiza en tiempo real, con las imágenes adquiridas del paciente en posición de bipedestación desde una evaluación biplanar. El análisis es cuantitativo y se realiza mediante un algoritmo que detecta identificadores óseos a través del procesamiento binario de imágenes. Se pudo observar que la cadena lesional que prevalece en los estudiantes universitarios fue la de inspiración y apertura. Esta herramienta de valoración permite al médico realizar un diagnóstico postural preciso y rápido para poder dar el seguimiento correspondiente, y de esta manera dar un tratamiento preventivo y/o correctivo que evite enfermedades degenerativas.

Palabras clave— procesamiento binario, cadena lesional, bipedestacion

* Autor de correspondencia

I. Introducción

La postura en un individuo es de vital importancia en la vida diaria para el buen desarrollo de sus actividades. Los seres humanos realizamos una variedad de tareas y movimientos en el transcurso del día los cuales en su mayoría se vuelven rutinarios, por lo que con el tiempo estos pueden producir:

- Alteraciones posturales: es el desarrollo de una postura anormal, una alteración postural común se define como el posicionamiento anterior de la cabeza. Esta posición lleva a hiperextensión de la cabeza sobre el cuello con retracción de la mandíbula, pudiendo causar daños en las articulaciones músculo esqueléticas [1, 2].
- Asimetrías: falta de simetría (relación entre las extremidades y partes del cuerpo).
- Desviaciones: curvatura de la columna, causados por una mala postura laboral e inactividad física.

Los problemas antes mencionados pueden ser identificados mediante simple observación y medidas antropométricas, sin embargo, el no corregir estas alteraciones traen como consecuencia el desarrollo de lesiones, problemas en los músculos, desgastes articulares o mal funcionamiento de los órganos [2].

El cuerpo sigue tres leyes: equilibrio, economía y confort, los cuales se pueden ver afectados por lo mencionado anteriormente, llevando a lo que conocemos como alteración de la postura corporal [3].

Para la corrección de estas alteraciones los médicos especialistas llevan a cabo diversos análisis posturales, en su mayoría análisis estáticos (pruebas que no requieren del esfuerzo de la persona).

Para la determinación de una afección se utilizan una serie de análisis que tienen como fin detectar la cadena miofascial afectada, las cuales son vías o circuitos que integran las conexiones de tres sistemas: nervioso, músculo esquelético y la fascia. Por ello, se creó un sistema que permita detectar a dichas cadenas con un solo análisis, para un diagnóstico más rápido por parte del médico, además del ahorro de pruebas que se necesitan antes para llegar a la determinación de estos.

Las cadenas miofasciales son seis, las cuales están validadas a nivel clínico. Se dividen en dos niveles: profundas, en donde entran las cadenas de extensión, flexión, apertura y cierre; y el otro nivel es superficiales, a la cual pertenecen las cadenas de inspiración y espiración.

En la actualidad el incremento de las consecuencias o afecciones por la mala postura es cada vez más notorio, por lo general afectan la espalda, cuello, hombros y extremidades superiores e inferiores. Estas afecciones son: incomodidad, dolor persistente en músculos y tendones, etc. La mala postura se desarrolla a causa del daño de

las cadenas miofasciales. Estos daños suelen desarrollarse por realizar incorrectamente alguna actividad, estrés, lesiones, golpes, entre otros factores [4].

A través del sistema de análisis postural estático se indica la cadena miofascial dañada más prevaeciente, además de desplegar las medidas de segmentos, longitudes y ángulos identificados por medio del uso de marcadores óseos para que el médico pueda determinar si existen asimetrías o desniveles y pueda determinar con mayor facilidad su diagnóstico y tratamiento.

La detección de los marcadores óseos se realiza utilizando algunas técnicas como la descomposición de la imagen en sus tres capas RGB (siglas en inglés de Red, Green, Blue), para realizar el análisis en particular de la capa azul (los marcadores utilizados son de este color), identificando las regiones de mayor saturación correspondientes a los marcadores y calculando sus centroides como coordenadas específicas dentro de un plano cartesiano para obtener distancias, ángulos, segmentos y diámetros. Todo este procesamiento ha sido realizado en MATLAB.

En cuanto a técnicas fisiológicas o anatómicas se hace uso del rango articular (ROM, siglas en inglés de Range of Movement) para la detección de regiones, la cual está ligada con los marcadores de los reparos óseos y el uso de los patrones de las cadenas miofasciales, establecidos a nivel clínico.

El ROM se define como los grados de libertad de movimiento que tiene una articulación al moverse. La técnica para calcular el ROM consiste en la detección de regiones a través de ángulos determinados a nivel clínico y realizar la comparación de estos con los parámetros que presente la persona, para poder determinar que cadena miofascial presenta, la medida de los ángulos, longitudes y segmentos se obtienen por medio de los reparos óseos.

II. Materiales y Sujetos

II.1. Sujetos de prueba

Se realizó la evaluación con una muestra de 20 voluntarios (estudiantes de la Universidad Politécnica de Chiapas), con edades comprendidas entre los 18 y 25 años, sin distinción de sexo.

Para realizar la evaluación se deben seguir una serie de pasos y especificaciones:

1. El voluntario debe llevar ropa completamente negra para eliminar el ruido y segmentar mejor los puntos de interés en la imagen al hacer el procesamiento de la misma.
2. Durante toda la evaluación se debe colocar al paciente en tres planos diferentes en estado bípedo como se indica para poder realizar la captura de las

imágenes digitales que serán procesadas por el sistema. Para el plano frontal, vista ventral se colocan 18 marcadores como se muestra en la Figura 1, dentro del plano frontal, vista dorsal se sumergen 16 marcadores como se muestra en la Figura 2, y para el plano sagital derecho se utilizan 14 marcadores colocados como se muestra en la Figura 3.

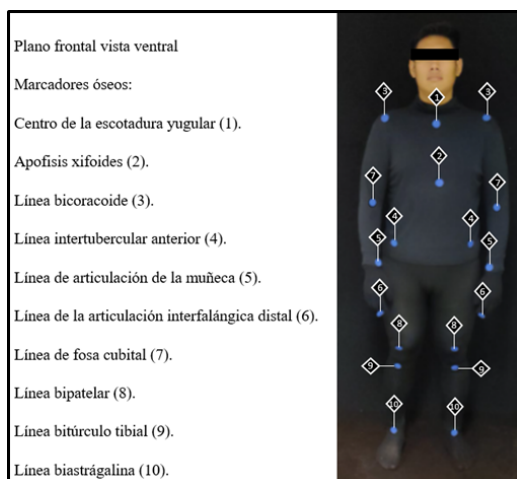


Figura 1: Marcadores del plano frontal, vista ventral

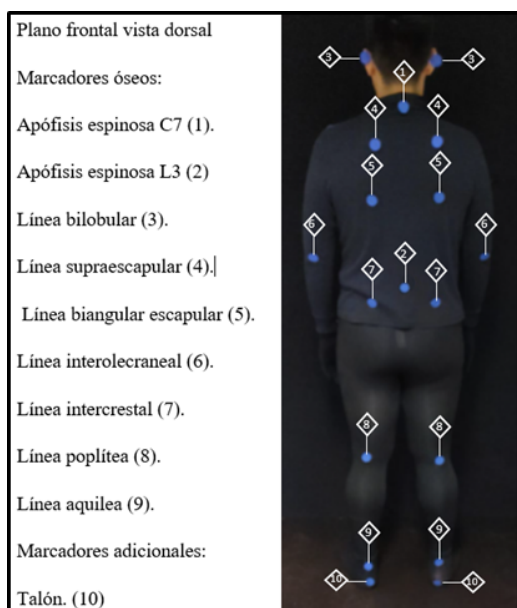


Figura 2: Marcadores del plano frontal, vista dorsal

II.2. Escenario

El escenario tiene ciertas especificaciones:

- Está compuesto por una base de madera negra y un marco completamente forrado con tela negra mate,

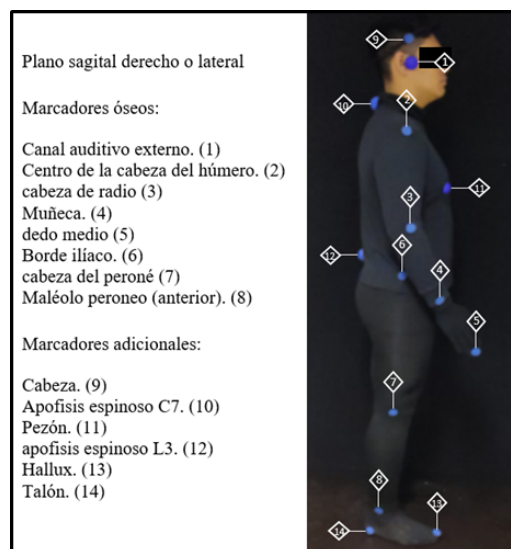


Figura 3: Marcadores del plano frontal, vista sagital

con el fin de eliminar el mayor ruido posible en las imágenes.

- Tiene 250 cm de alto y 170 cm de ancho, esto se debe al ángulo de apertura que alcanza la cámara y la altura promedio que puede alcanzar un humano.
- Las medidas a considerar para una buena toma de imágenes y la obtención de resultados correctos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Medidas necesarias en el área

Espacio a considerar	Medida
Distancia cámara-escenario	246 cm
Distancia cámara-paciente	218 cm
Altura de tela (fondo)	250 cm
Altura de cámara	104 cm
Apertura de cámara (ancho del fondo o tela)	170 cm

Las luces utilizadas son lámparas LED, situadas a 90° por encima de la cámara (webcam Full HD - Logitech - C 922 con su respectivo trípode) la cual se usa para la toma de imágenes digitales que son procesadas por el algoritmo.

III. Desarrollo

III.1. Descripción del algoritmo y base de datos

La identificación de la cadena miofascial prevaeciente se llevó a cabo a través de diversas etapas de algoritmos descritas a continuación:

1. Descomposición de la imagen en sus tres capas RGB: la imagen a colores (3D) adquirida del paciente en un plano se descompone en sus tres capas RGB quedando tres imágenes (2D) que representan la saturación de cada color: rojo, verde y azul.
2. Identificación de los marcadores óseos en la imagen: la capa azul de la imagen se analiza ya que los marcadores son de este color. Se realiza la binarización de la imagen para obtener una matriz lógica (de ceros y unos), donde las regiones blancas (unos) representan la ubicación de los marcadores en la imagen.
3. Cálculo de los centroides de los marcadores óseos: a partir de la imagen binarizada se realiza el etiquetado de cada región de interés para obtener los centroides de cada una, como la ubicación de la columna y el renglón del mismo.
4. Cálculo de longitudes y diámetros: los centroides de las regiones de interés se toman como puntos, similar a como se hace en un plano cartesiano, utilizando la fórmula de distancia entre dos puntos para la obtención de las longitudes y diámetros de los segmentos.
5. Cálculo de ángulos: se desarrolló una función para el cálculo de los ángulos a partir de la fórmula de producto punto para ángulos internos de un triángulo. Este triángulo se forma a partir de la imagen con los vértices en los marcadores.
6. Detección de la cadena miofascial prevaleciente: una vez obtenidos todos los ángulos se comparan con los rangos de la referencia clínica para la clasificación de cada cadena y se identifica la que tenga mayor prevalencia.

Para el almacenamiento de los datos del paciente tanto personales como los resultados del estudio se elaboró una base de datos que permite generar un historial de los mismos, esta se hizo mediante un localhost, a través del sistema MySQLserver la cual está enlazada a la interfaz del sistema.

III.2. Técnicas y métodos utilizados

La elaboración del software consistió en realizar un algoritmo compuesto de un conjunto de códigos realizados en el software MATLAB 2021a.

El sistema trabaja a través del procesamiento de imágenes mediante la detección de los marcadores óseos, para el desarrollo de este se hizo uso de diferentes métodos y técnicas como es el caso de la descomposición de la imagen en sus tres capas RGB, la cual consiste en la descomposición y separación de una imagen digital en sus capas de RGB para realizar el análisis en particular de la capa azul (los marcadores utilizados son de este color).

Del mismo modo se aplicó la técnica de binarización de imagen para obtener una matriz lógica que permite realizar la identificación de las regiones con mayor saturación correspondiente a los marcadores, guardando dicha información para poder obtener la ubicación de los marcadores (centroides) a través del “método región props” que consiste en medir propiedades de regiones de imagen binarizada para obtener las coordenadas de los centros de cada identificador ubicadas dentro de un plano cartesiano mediante la técnica del etiquetado de objetos.

Esto permite aplicar la técnica de distancia entre dos puntos para posteriormente obtener los ángulos, segmentos y longitudes y una función creada para obtener los ángulos usando el producto escalar.

Del mismo modo, se utilizó una función en línea *im-line* para poder visualizar la polilínea (vista en el plano sagital) además de la segmentación de las longitudes y diámetros medidos, y la función de la aplicación de exportar para guardar los resultados en formato PDF. Las cadenas miofasciales se obtienen a través de la comparación de los ángulos obtenidos por el sistema contra los de la referencia clínica.

III.3. Interfaz

La interfaz de usuario se realizó en la app designer de MATLAB, cuenta con ocho ventanas (Figura 4) que en conjunto permiten la operación del sistema junto con el algoritmo y la base de datos, las cuales son descritas a continuación:

- Ventana de inicio: esta ventana incluye el nombre del sistema y el acceso a dos secciones: inicio de sesión e información.
- Ventana de información: contiene información sobre el software, como ¿qué es? ¿cómo funciona? y los resultados que se obtienen.
- Ventana de selección de usuario: dentro de esta se selecciona el tipo de usuario correspondiente (Administrador, médico y enfermera), que tiene asignado en la base de datos un ID diferente para cada uno. Una vez seleccionado se redirige a la ventana de inicio de sesión.
- Ventana de inicio de sesión: esta da la bienvenida y permite ingresar el usuario (debe coincidir con el ID previamente seleccionado) y contraseña. Los privilegios son diferentes para cada tipo de usuario. Al ingresar el usuario y contraseña correctos, permite ingresar a otra ventana que da las opciones correspondientes.
- Ventana de opciones médico y administrador: tiene tres opciones, la primera permite dar de alta a los pacientes, la segunda permite analizar al paciente (redireccionamiento a la ventana de análisis) y la

tercera permite volver a la ventana de inicio.

- Ventana de opciones enfermera: tiene dos opciones, una de ellos permite dar de alta a los pacientes y la otra volver a la ventana de inicio.
- Ventana de registro: la función de esta es capturar y almacenar los datos del paciente en la base de datos.
- Ventana de análisis: está en conjunto con sus pestañas, permite realizar y visualizar los resultados del análisis. A este privilegio tienen acceso únicamente el médico y el administrador.

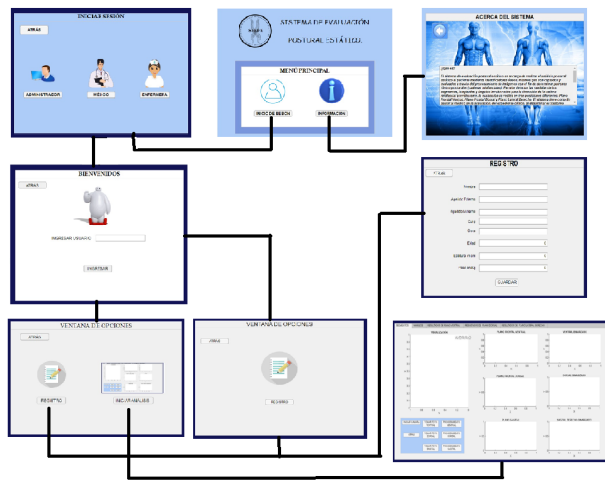


Figura 4: Ventanas del sistema

Las pestañas son las siguientes:

- Pestañas de segmento: en esta se puede encender la cámara y tomar las fotos de los tres planos diferentes (plano ventral, dorsal y sagital) en tiempo real, así como visualizar la fotografía capturada y la binarización de la imagen.
- Pestaña de ángulos: permite calcular y procesar los ángulos de cada plano y compararlos para detectar la cadena miofascial afectada.
- Pestaña de resultados para cada uno de los planos: dentro de estas pestañas se pueden visualizar los resultados correspondientes al plano (longitud de segmentos, diámetro de segmentos y ángulos) además de los ejes que contienen las imágenes con las longitudes y diámetros de los segmentos.
- Pestaña de diagnóstico de la cadena afectada: permite visualizar el resultado de la cadena miofascial prevalente.

Cada pestaña de esta ventana permite generar un PDF con los resultados obtenidos.

IV. Pruebas

La validación del proyecto se realizó en un ambiente controlado y supervisado por un especialista en el área.

Se valora en dos partes: la primera consiste en validar la parte cuantitativa, donde se realiza la comparación entre los resultados de las mediciones obtenidas por el sistema contra las obtenidas mediante el software Kinovea (software homologado y evaluado por el mercado). Esta comparación ayuda a ver si los resultados de las medidas obtenidas por el sistema desarrollado (diámetros, longitudes de los segmentos y ángulos) son correctos o se encuentran dentro de un parámetro aceptable.

Una vez obtenidos los resultados del sistema, se evaluó la similitud con los resultados obtenidos con el software Kinovea y se realizó la comparación de resultados para obtener la diferencia entre ambos con la ayuda de la prueba T pareada.

La segunda parte consiste en la comparación de los resultados de la cadena miofascial afectada dados por el sistema de forma cuantitativa y el diagnóstico determinado por el médico de forma cualitativa ya que los médicos en México aún no cuentan con un sistema de análisis cuantitativo para la detección de patrones tónicos posturales (cadenas miofasciales).

V. Resultados

Los resultados se pueden ver a través de los datos estadísticos obtenidos de las pruebas realizadas.

Al observar el comportamiento de los resultados entre el sistema y Kinovea, se obtuvieron diferencias mínimas en las mediciones en un rango ± 2 centímetros en los diámetros de segmentos del plano frontal vista dorsal, como se puede observar en la Figura 5.

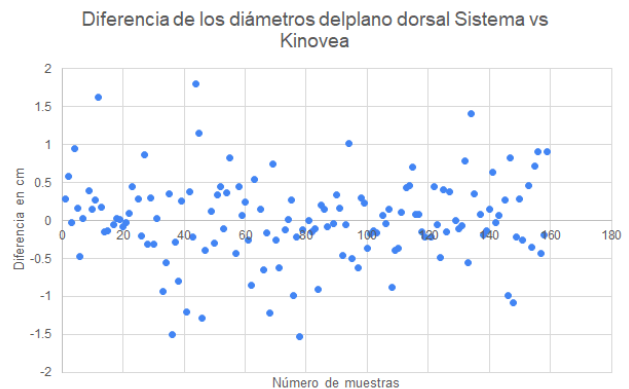


Figura 5: Diferencia de diámetros de segmentos en el plano frontal vista dorsal entre el sistema y Kinovea

Así mismo se aplicó la prueba T pareada y se observó que los datos obtenidos son equitativos. Teniendo cada

prueba T por variable se observó que 42 de las 46 variables evaluadas presentaron una hipótesis nula ($T < t$), lo que corresponde a un 91 % de efectividad o compatibilidad y las medidas de varianza son muy similares, por lo tanto, arrojan resultados precisos.

En cuanto a la comparación entre el resultado de la cadena miofascial que da el sistema y el diagnóstico del médico se hizo una comparación de aciertos, por lo que no se realizó una prueba estadística como tal, sino que se hizo una comparación de resultados y se obtuvo el número de aciertos. Se obtuvieron 20 aciertos de 20 pruebas evaluadas, lo que corresponde al 100 %, es decir, los resultados entre el sistema y el diagnóstico del especialista fueron equivalentes. Clínicamente los hallazgos reportados en el software coinciden con las pruebas clínicas convencionales ortopédicas, como se observa en la Figura 6.

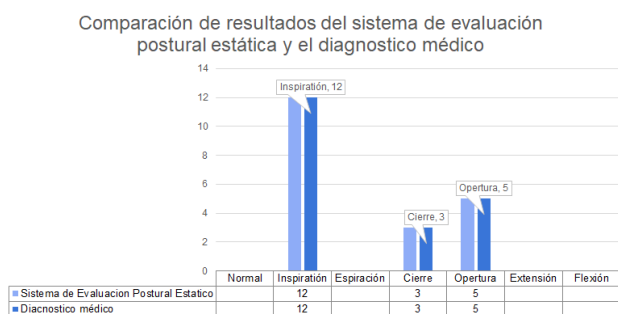


Figura 6: Comparación de resultados del sistema de evaluación postural estática y el diagnóstico médico

Se identificaron como cadenas miofasciales más frecuentes las de cadena de inspiración en un 60 % y la cadena de apertura en un 25 %, los resultados en la prueba estadística realizada a 20 estudiantes de la Universidad Politécnica de Chiapas, reflejados en el gráfico permite observar que predominó la cadena de inspiración seguida de la apertura como se ve en la Figura 7.

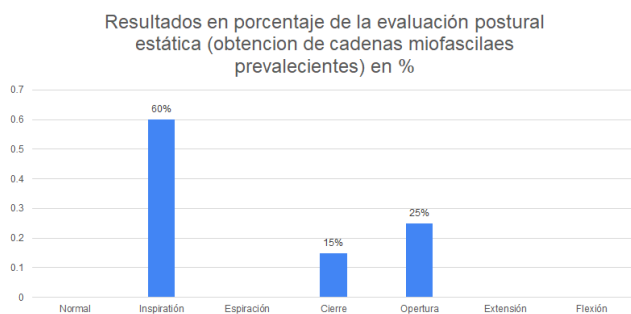


Figura 7: Resultados en porcentaje de la evaluación postural estática

VI. Conclusiones

De los resultados obtenidos se puede afirmar que el sistema desarrollado permite al médico establecer un diagnóstico postural más rápido y eficiente, minimizar el tiempo de revisión y evolución en cada paciente, lo que en promedio conlleva de dos a tres sesiones. Con el uso de este programa es posible abordar a los pacientes desde la primera sesión, siendo más puntuales hacia la causa que provoca las alteraciones posturales encontradas y ofrecer de esta manera un tratamiento más seguro y eficaz.

En cuanto al sistema, podemos decir que, al cumplirse la hipótesis nula, los datos entre el sistema y el software con el que se comparó (Kinovea) son similares, además de la validación por el médico especialista. Por lo tanto el sistema cuenta con un buen porcentaje de confiabilidad.

El sistema permite identificar la cadena lesional que prevalece para establecer el patrón postural disfuncional, por lo que es un excelente apoyo diagnóstico para la evaluación postural.

Una de las áreas de desarrollo del sistema es su uso e implementación por varios especialistas, como ayuda para clínica en el diagnóstico y evolución, y no requerir en la mayoría de los casos someter al paciente a radiación; otra de las áreas es en el uso del sistema para estudios ergonómicos que impliquen posturas anómalas.

Además de contribuir a la economía del paciente, ya que, al requerir menos sesiones para la identificación del diagnóstico, representa menos costo por consulta.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Politécnica de Chiapas y al servicio médico universitario por permitir la implementación del sistema dentro de sus instalaciones.

Referencias

- [1] Francisco Wanderley Garcia de Paula e Silva, Alexandra Mussolino de Queiroz y Kranya Victoria Díaz-Serrano. «Alteraciones posturales y su repercusión en el sistema estomatognático». En: *Acta odontológica venezolana* 46.4 (2008), págs. 517-522.
- [2] ANGEL GABRIEL Estévez-Pedraza et al. «Sistema electrónico para reeducación postural estática en tiempo real». En: *Revista mexicana de ingeniería biomédica* 38.1 (2017), págs. 390-401.
- [3] Yesica Regina Yeannes, Roberto Bagnoli y Marco Tramontano. «CONCEPTOS DE POSTUROLOGIA». 2012.

- [4] Luisa Fernanda Diaz Rodríguez, Yesica Niño Rodríguez y Ana Elizabeth Pedraza Martínez. «Análisis postural en odontólogos: Origen para una propuesta de intervención enfocada en hábitos de vida saludables». Tesis doct. Corporación Universitaria Minuto de Dios, 2019.

Physicochemical characterization of sheep fat and evaluation of the effect of pre-esterification and transesterification in biodiesel production

Caracterización fisicoquímica de la grasa de ovino y evaluación del efecto de la pre-esterificación y transesterificación en la producción de biodiesel

Rogelio Pérez-Cadena^{*1}, Elizabeth González-Escamilla¹, Angelica E. Delgadillo-López¹, and J.E. Hernández²

¹ Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo (UPMH),
Unidad Académica de Ingeniería en Energía,

Boulevard de acceso a Tolcayuca 1009, Ex Hacienda de San Javier, Tolcayuca, Hidalgo México. CP. 43860.

² Bioinspired Engineering Research Group (BIERG),

Canterbury Christ Church University,
Canterbury, Kent CT1 1QU, UK.

{roperez,egonzalez,adelgadillo}@upmh.edu.mx, cpp02jeh@yahoo.com.mx

Abstract

In addition to vegetable oils, other alternative source as raw material for the production of biodiesel can be animal fat. In the state of Hidalgo, sheep culture is an agricultural activity that generates fat residues derived from the process of making the barbecue. Four samples were characterized: crude fat (Gcr), consommé fat (Gcon), and two cooked meat fats (Gcc and Gc). The effect of pre-esterification, transesterification and reaction time on biodiesel production yield was evaluated, obtaining a yield of up to 89.44% for homogeneous catalysis, while pre-esterification decreased yield. Additionally, it was determined that the lowest amount of free fatty acids was found in the Gcon sample (0.3%), and the highest value was found in the Gcc (0.75%) and Gc (0.83%) samples.

Keywords— Biodiesel, fat sheep, transesterification

Resumen

Además de los aceites vegetales, otra fuente alternativa como materia prima para la producción de biodiesel puede ser la grasa animal. En el estado de Hidalgo, la ovino cultura es una

actividad agropecuaria que genera residuos de grasa derivados del proceso de elaboración de la barbacoa. Se caracterizaron cuatro muestras: grasa cruda (Gcr), grasa de consomé (Gcon) y dos grasas de carne cocida (Gcc y Gc). Se evaluó el efecto de la pre-esterificación, transesterificación y el tiempo de reacción en el rendimiento de la producción de biodiesel obteniéndose un rendimiento de hasta 89.44% para la catálisis homogénea, mientras que la pre-esterificación el rendimiento disminuyó. Adicionalmente, se determinó que la cantidad de ácidos grasos libres mas bajo se presentó en la muestra Gcon (0.3%), y el valor mas alto lo presentaron las muestras Gcc (0.75%) y Gc (0.83%).

Palabras clave— Biodiesel, grasa de ovino, transesterificación

I. Introducción

En la actualidad los combustibles derivados del petróleo son la principal fuente de energía. Sin embargo, a nivel mundial este recurso puede llegar a ser finito debido al alto consumo y demanda que tiene en la sociedad [1]. Alternativas a dichas fuentes son de interés comercial, una de estas fuentes es el uso de biocombustibles como el biodiesel.

* Autor de correspondencia

Los sustratos comúnmente utilizados para la producción de biodiesel son los aceites vegetales tales como: residuos de aceite vegetal, aceite de girasol, oliva, soya, algodón, palma, entre otros [2]. Estos son empleados para la producción de biodiesel de primera generación [3]. Sin embargo, se pueden emplear otras fuentes tales como: aceites no comestibles de segunda generación o aceites usados denominados de tercera generación, que naturalmente son renovables y también se pueden encontrar localmente [4, 5].

Debido a la variabilidad en la composición de los diversos sustratos existentes, la selección de este es de suma importancia para la producción de biodiesel debido a factores como: costo, rendimiento, composición y pureza pueden afectar directamente a la producción de biodiesel [6].

Por tanto, su selección depende de su disponibilidad y del tipo de sustrato (comestible, no comestible o residuo), además de la región o área de la cual se obtenga, y de otros factores que se deben de considerar, tales como: la abundancia de sustrato, el contenido de aceite o ácidos grasos, la composición química y sus propiedades físicas [4]. De entre las principales fuentes de grasa animal para la obtención de biocombustibles se puede encontrar: sebo, manteca de cerdo, grasa de pollo y mezclas de grasas animales en las cuales la composición de ácidos grasos puede ser muy variada [7].

Una de las principales características de los residuos de grasas animales es el contenido de ácidos grasos libres [8]. Por tanto, durante el proceso de transesterificación para la transformación de un residuo en biodiesel existen varios parámetros que determinan el rendimiento final del biodiesel. Las variables más importantes son: la cantidad de ácidos grasos libres, el contenido de agua, la temperatura de reacción, la relación molar alcohol/aceite, el tipo y concentración del catalizador, el tipo y estructura química del alcohol, el tiempo de reacción y la velocidad de agitación en el mezclado [1, 9].

En el estado de Hidalgo, la ovino cultura es una de las principales actividades agropecuarias ocupando el segundo lugar nacional en producción de ganado ovino [10]. El consumo per cápita de ovino tiende a incrementar, reportándose un aumento de 0.22 kg en un periodo de 10 años, haciendo de este producto un elemento en la dieta y el gusto de la población mexicana [11].

La carne de ovino es un producto de calidad y es demandado por la población urbana que la consume frecuentemente en barbacoa (plato tradicional de carne de ovino, cocida en su propio jugo o al vapor), principalmente en las grandes ciudades como la CDMX y el área conurbana del Estado de México, Guadalajara y Monterrey [10].

La carne de ovino contiene sustancias nutritivas necesarias para la alimentación humana, y su calidad depende de sus características químicas, encontrándose que la car-

ne de ovino puede contener desde un 7% hasta un 30% de grasa además de agua, sales minerales y proteína [12]. Por otro lado, la composición de ácidos grasos de la carne de ovino se encuentra mayormente influenciada por la edad, régimen de alimentación y genotipo del ganado, pero el principal ácido graso presente en la grasa intramuscular es C18:1n-9, seguido por C16:0, mientras que el tercer ácido graso de mayor abundancia es C18:0 [13].

Debido a que la grasa de ovino puede ser un recurso abundante, en el presente trabajo se evaluaron las propiedades y características de diversas fracciones de grasa obtenidas del procesamiento del ganado ovino como materia prima en la producción de barbacoa, y se evaluó el efecto de la pre-esterificación y esterificación en el rendimiento de la producción de biodiesel.

II. Metodología

II.1. Pretratamiento

Del proceso artesanal de elaboración y comercialización de la barbacoa realizado por la familia Cadena-Reyes en la comunidad de Zaragoza ubicada en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, se obtuvieron cuatro muestras: una grasa cruda (Gcr) y tres grasas de la barbacoa (Gcon: grasas de consomé, Gcc: grasa de caja de almaceñaje y Gc: grasa obtenida de la carne de barbacoa). Las muestras se almacenaron en recipientes de 1 L previamente esterilizados, se etiquetaron y posteriormente se colocaron en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

Se colocaron muestras de 500 g en vasos de precipitados de 1L sobre una parrilla de calentamiento durante 3 h a 90 °C para eliminar el contenido de agua de cada muestra. Posteriormente, la muestra se pasó a través de un colador y papel filtro para eliminar las impurezas [14]. El contenido de humedad de cada una de las muestras se determinó por diferencia de peso.

II.2. Caracterización de la materia prima

Para caracterizar a cada una de las grasas se determinaron los siguientes valores: gravedad específica, índice de acidez, porcentaje de ácidos grasos libres, índice de saponificación y peso molecular promedio.

Para determinar la gravedad específica (GE) de las muestras se utilizó un picnómetro de 25 mL y se determinó la gravedad específica, mediante la Ecuación (1) [15].

$$GE = \frac{((\text{peso del picnómetro} + \text{muestra}) - \text{peso del picnómetro})}{((\text{peso del picnómetro} + \text{agua}) - \text{peso del picnómetro})} \quad (1)$$

Para la determinación del índice de acidez (IA) se preparó una solución de 0.1 N de KOH, posteriormente dos gramos de la muestra fueron calentados a 40 °C por tres minutos. 20 mL de etanol anhidro se le agregó a la solución junto con 2 gotas de fenolftaleína como indicador de la titulación. La titulación se realizó con KOH 0.1 N hasta el vire. El valor IA se determinó de acuerdo a la Ecuación (2) [16].

$$IA = \frac{M \times N \times V}{W} \quad (2)$$

Donde: N es la normalidad del KOH, V es el volumen del titulante gastado (mL), M es el peso molecular del KOH y W es el peso de la muestra.

La determinación del porcentaje de ácidos grasos libres (AGL) se realizó a través del IA calculado previamente. Para ello se utilizó la Ecuación (3) [17].

$$\%(AGL) = IA \times 0.503 \quad (3)$$

Para obtener el valor del índice de saponificación (IS), se preparó una solución etanólica de KOH y se agregó a 2 g de la muestra, colocándose a 70 °C durante 30 minutos con un condensador. Posteriormente, la mezcla fue enfriada y se le colocaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador y la mezcla fue titulada con una solución 0.5 M de HCl. El valor del IS se determinó usando la Ecuación (4) [16].

$$IS = \frac{M \times N \times (Vb - Vs)}{W} \quad (4)$$

Donde: M es el peso molecular del KOH, N es la normalidad de la solución de HCl, Vb es el volumen de HCl usada en el blanco, Vs es el volumen de la solución usada en la muestra y W es el peso de la muestra.

El peso molecular promedio (WM, por sus siglas en inglés) de la muestra se calculó a partir del índice de acidez y el índice de saponificación de acuerdo a la Ecuación (5) [18].

$$WM = \frac{56.1 \times 100 \times 3}{IS - IA} \quad (5)$$

II.3. Diseño de experimento de producción de biodiesel

Las reacciones de pre-esterificación y transesterificación se llevaron a cabo en un matraz de fondo redondo de 250 ml equipado con: un condensador de reflujo, un termómetro y una parrilla de calentamiento con agitador magnético. Todos los experimentos se realizaron con 50 g de grasa. La reacción de transesterificación de

la grasa se realizó en dos pasos: con catalizador ácido (pre-esterificación) y con catalizador alcalino (transesterificación). Como factores adicionales se analizó el efecto del tiempo de reacción y la relación metanol-grasa de acuerdo con el diseño mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1: Diseño de experimentos de los factores evaluados

Nivel	Ácido (% v/v) X_1	Metanol: Grasa (mol:mol) X_2	Tiempo (min) X_3
-1	0	6:1	30
0	2	12:1	60
1	1	18:1	90

II.4. Pre-Esterificación

Se calentaron 50 g de grasa a 60 °C en un matraz de fondo redondo, se añadió metanol y catalizador ácido en solución (Tabla 1), manteniendo una relación molar metanol-grasa de 6:1, posteriormente se inició la agitación de la mezcla durante 30 min. La mezcla se colocó en un embudo de separación y se dejó reposar hasta la separación de fases. La fase superior consistió en metanol, catalizador, H_2O e impurezas y la fase inferior consistió principalmente en grasas y los ácidos grasos esterificados [8].

II.5. Transesterificación

Se calentaron 50 g de grasas a 60 °C utilizando el mismo sistema que la pre-esterificación. Se añadió la cantidad adecuada de metanol y catalizador (NaOH) previamente preparado (1 % p/v). La muestra de reacción se colocó durante el tiempo establecido de acuerdo al diseño experimental (Tabla 2). La mezcla se colocó en un embudo de separación. Se separó la fase de glicerol, posteriormente se lavó la fase de biodiésel con agua desionizada para eliminar el catalizador en una proporción 1:1, posteriormente las muestras se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 min. Los experimentos se realizaron por triplicado y el biodiesel obtenido fue medido y pesado. El rendimiento (Y) de la reacción se determinó usando la Ecuación (6) [16].

$$Y(\%) = \frac{\text{Peso total de Biodiesel de la grasa}}{\text{Peso total de aceite en la muestra}} \times 100\% \quad (6)$$

II.6. Análisis estadístico

Las muestras iniciales de grasa se compararon a través de un análisis de la varianza (ANOVA) para verificar similitudes entre los parámetros evaluados. El efecto de las

variables analizadas en la producción de biodiesel se analizó a través de un diseño Box-Behnken el cual requirió 15 combinaciones experimentales (Tabla 2). Cada experimento se repitió tres veces y se determinó el rendimiento como variable de respuesta. Los datos experimentales fueron analizados usando el software Statgraphics Centurion XVI.

Tabla 2: Diseño de experimentos Box-Benken para la producción de biodiesel de la grasa de ovino

No	X_1	X_2	X_3	Y%
1	0	0	0	71.65± 5.44
2	0	0	0	85.14±0.85
3	0	1	-1	77.97±6.04
4	0	0	0	74.82±0.86
5	-1	0	1	89.44±3.44
6	-1	0	-1	54.18±0.86
7	0	-1	1	41.28±1.72
8	1	0	1	58.48±1.72
9	0	-1	-1	45.80±9.35
10	-1	-1	0	80.84±5.16
11	0	1	1	81.70±0.86
12	1	0	-1	79.12±0.92
13	-1	1	0	68.22±5.53
14	1	1	0	76.25±6.04
15	1	-1	0	67.65±5.25

III. Resultados

III.1. Caracterización de los residuos de grasa de ovino

Se analizaron cuatro muestras de grasa obtenidas de diferentes etapas del procesamiento de ganado ovino durante la elaboración de barbacoa.

A las muestras se les determinaron características físicoquímicas como: humedad, gravedad específica, pH, índice de acidez e índice de saponificación con la finalidad de evaluar el efecto de la fuente de obtención y su potencial previo a ser empleado como materia prima para la producción de biodiesel.

Se observó que la cantidad de humedad en la muestra Gc fue de un 20.53 %, esta cantidad se debió principalmente a que la muestra aún tenía presencia de tejido y agua originada por el proceso de lavado del canal; mientras que para las muestras Gcon y Gcc el porcentaje de humedad fue del 2.46 % y 2.6 % respectivamente (Tabla 3). Estos resultados coincidieron con trabajos previamente reportados donde se menciona que el proceso de cocinado permite una deshidratación del alimento, provocando que el agua y los compuestos solubles sean transferidos del alimento al aceite [19].

Las mediciones de la gravedad específica de las muestras no mostraron diferencias estadísticas significativas, por lo que este parámetro se mantuvo constante con un valor de 0.9 para las cuatro muestras estudiadas. Resultados similares se han reportado en muestras de piel de oveja con densidad de 0.9 kg/L [16]. Para grasas de ternera, res, cerdo, ganso y pollo la densidad promedio se han reportado de 0.92 g/cm³ con una disminución en este valor de 3 % para el biodiesel obtenido de las grasas animales [6].

La determinación de la densidad inicial es de importancia debido a que el biodiesel de alta densidad contiene más masa en comparación con el combustible de baja densidad debido a que la cantidad de energía y la relación aire-combustible en la cámara de combustión se ven afectadas por la densidad del combustible [5]. Por otro lado, el pH medido de las muestras fue en promedio de 5.91, no observándose diferencias estadísticas significativas entre las muestras estudiadas.

Un parámetro importante en la evaluación de las grasas es la determinación del IS, el cual representa la cantidad en mg de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres y saponificar los ésteres presentes en 1 g de muestra [16]. En los resultados obtenidos se observó que los valores se encontraron en un intervalo de 116.4 mg KOH/mg hasta 178.1 mg KOH/g, el menor valor de IS la presentó Gcc mientras que el máximo observado se encontró en Gc. Las muestras analizadas no mostraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 1).

El índice de acidez no mostró diferencias estadísticas entre las muestras analizadas obteniéndose un valor medio de 1.53 mg KOH/g de grasa para las cuatro muestras estudiadas. Resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo han sido descritos previamente, donde se determinó que el índice de acidez fue de 0.84 mg de KOH/g de aceite y en manteca de cerdo el índice de acidez fue de 1.58 mg KOH/g [1]. Esta variación podría deberse principalmente a la dieta de los animales. Por otro lado, se ha reportado que estos valores disminuyen al realizar un proceso de transesterificación, de tal forma que los valores sean menores a 0.5 mg KOH/g de acuerdo a estándares como la ASTM y EN14214 [4].

El porcentaje de ácidos grasos libres fue determinado observándose que el valor más bajo se presentó en la muestra Gcon con un 0.3 %, mientras que el valor más alto lo presentaron la muestra Gcc con un valor de 0.75 % y la muestra de Gc con un valor de 0.83 %, seguido de Gcr con un 0.6 % (Tabla 3). De acuerdo con los estudios reportados, la transesterificación catalizada por compuestos alcalinos se ve afectada negativamente por un alto contenido relativo de ácidos grasos libres formando jabones [8].

El nivel adecuado de ácidos grasos libres en las materias primas debe ser entre 0.5 % y 3 % para que tenga

Tabla 3: Caracterización fisicoquímica de las muestras de grasa de ovino

	Gcr	Gcon	Gcc	Gc
Gravedad específica (GE)	0.73 ± 0.02b	0.93 ± 0.06a	0.90 ± 0.01 a	0.90 ± 0.02 a
% humedad	27.93 ± 4.16a	2.46 ± 0.25b	0.60 ± 0.12d	20.53 ± 6.70c
ph	5.81 ± 0.39a	5.63 ± 0.33 a	6.42 ± 0.12 b	5.81 ± 0.09 b
Índice de saponificación (mg KOH /g) (IS)	134.60 ± 14.03b	140.30 ± 2.81b	116.40 ± 1.40a	178.11 ± 32.26ab
Índice de acidez (mg KOH/g) (IA)	1.20 ± 0.29a	1.70 ± 0.29 a	1.50 ± 0.50 a	1.70 ± 0.29 a
% de ácidos libres (AGL)	0.60 ± 0.15b	0.30 ± 0.01a	0.75 ± 0.14 b	0.83 ± 0.15 b
Peso molecular (g/mol) (WM)	1260.93	1214.43	1464.66	953.81

lugar la transesterificación alcalina con la tasa de conversión adecuada [20]. Adicionalmente, se ha descrito que una grasa de alta calidad debe de contener una cantidad de ácidos grasos libres menor al 2% empleado para cosméticos y medicamentos, mientras que valores de ácidos grasos libres menores al 5% podrían estar destinados a la producción de biocombustibles [7].

La importancia de caracterizar los sustratos para producir biodiesel se debe a que los aceites y en este caso las grasas comestibles se exponen constantemente a reacciones químicas durante el proceso de cocinado, siendo los factores más importantes el oxígeno, la luz y calor los que afectan sus características y su pureza, debido a que durante el proceso de cocinado se llevan a cabo reacciones de oxidación, polimerización e hidrólisis principalmente [19].

III.2. Producción de biodiesel a partir de grasa de ovino

A partir de la muestra de grasa de ovino se exploró el efecto de la pre-esterificación al 1% y 2% v/v de ácido metanol (relación molar 6:1) y la transesterificación con una relación de metanol-grasa de 6:1, 12:1, y 18:1; además del tiempo de reacción de entre los 30, 60 y 90 min como factores que afectan el rendimiento en la obtención de biodiesel.

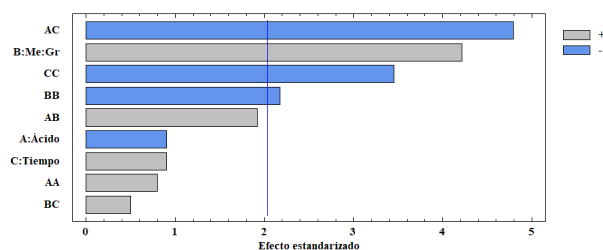
La Tabla 2 muestra que el máximo rendimiento obtenido fue de 89.44% p/p para las condiciones de una relación metanol-grasa de 12:1, en ausencia de una pre-esterificación y con un tiempo de reacción de 90 min. Previamente, se ha descrito que la presencia de metanol excesivo no es favorable durante la purificación del biodiesel debido que se necesita energía adicional para recuperar el metanol sin reaccionar [9].

Por tanto, una relación molar de metanol aceite de 9:1 es más apropiada en comparación a una relación molar más baja, evitando la limitación en la conversión de los triglicéridos en ésteres metílicos debido a la naturaleza reversible de la transesterificación [9, 18]. En contraste, se ha descrito también una alta conversión (96.2%) a 70 °C, observando también que a una temperatura de 30 °C puede ser adecuada para la etanolisis de biodiesel,

usando 0.96% en peso de catalizador y una relación molar de etanol-grasa 7:1 con rendimientos de alrededor del 83% en grasas animales [20].

En los experimentos realizados en este trabajo se observó que el máximo rendimiento de conversión fue de 81% con la relación molar más alta y un tiempo de reacción de 90 min. Mientras que los tratamientos con tiempo de reacción más cortos (30 min) la conversión fue menor (Tabla 2).

El análisis del diseño del experimento mostró que el factor determinante en el rendimiento durante la transesterificación es la relación metanol-grasa, mientras que la presencia de ácido en la pre-esterificación combinado con el tiempo afectó directamente el rendimiento de tal forma que se observó una disminución (Figura 1).


Figura 1: Efecto de las variables estudiadas en el rendimiento de la producción de biodiesel

En la Tabla 2 se muestra que en los experimentos con pre-esterificación el rendimiento fue menor al 70% y al asociar este factor con una baja relación metanol-grasa el proceso de transesterificación estuvo limitado en comparación a los experimentos en los cuales no se aplicó este proceso (experimento 9).

Los datos obtenidos fueron analizados en el software Statgraphics Centurión XVI para evaluar el efecto de las variables estudiadas (Figura 2). La Figura 2a mostró que la interacción entre la relación molar y el tiempo en ausencia de un proceso de pre-esterificación, los rendimientos esperados son de 87%. Al respecto, se ha descrito previamente que el rendimiento en la producción de biodiesel aumenta con el incremento simultáneo de la temperatura y el catalizador hasta aproximadamente 65 °C y 1.25%

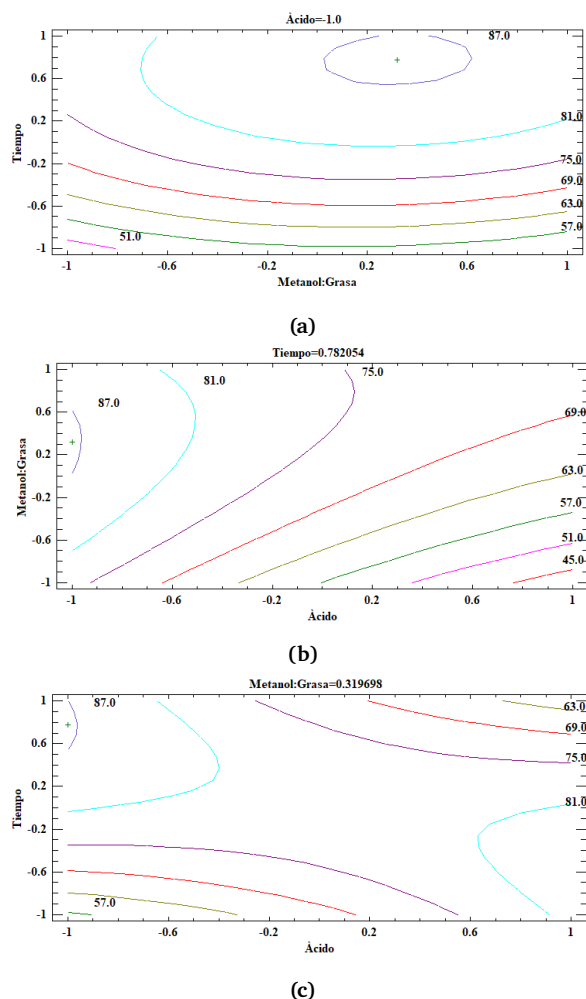


Figura 2: Efecto de las variables estudiadas en el rendimiento de la producción de biodiesel a partir de la grasa de ovino

en peso, respectivamente [1].

En este trabajo se observó que un tiempo mayor a 1 h y con una relación de metanol grasa 15.6:1 es posible tener un máximo en el rendimiento del biodiesel. Sin embargo, de acuerdo con varias investigaciones por otros autores, un factor clave en la mejora en el rendimiento es evaluar el efecto del catalizador en la transesterificación homogénea y el mezclado [3, 21].

En la Figura 2b se muestra la gráfica de contorno del efecto entre el porcentaje de ácido usado en la pre-esterificación y la relación metanol grasa, donde se encontró que la presencia de un proceso de pre-esterificación disminuyó el rendimiento de la transesterificación hasta un 45 % mientras que, el máximo valor de rendimiento se obtuvo sin este pretratamiento y con una relación metanol grasa cercana a 12:1.

Por otro lado, en la Figura 2c se observó que con el tiempo el proceso de transesterificación se vio limitado, teniendo un rendimiento mayor al 81 % sin ácido en la

pre-esterificación y un tiempo de 90 min de reacción.

Los menores rendimientos se observaron con un 2 % de H_2SO_4 mientras que con 1 % el rendimiento fue inferior al 80 %, lo que indicó que hubo una disminución en el contenido de ácidos grasos libres mejorando la conversión, aunque el rendimiento fue menor comparado con los tratamientos en ausencia de la pre-esterificación con ácido. En estudios similares con presencia de ácidos grasos libres, se argumentan la necesidad de un pretratamiento para reducir la acidez a valores aceptables y evitar la saponificación y una disminución en el rendimiento de la transesterificación [22].

En trabajos similares, se ha encontrado que cantidades de 1.88 % de ácidos grasos libres con condiciones de operación de 30 °C y un mínimo de 1.3 % en peso de catalizador, los rendimientos fueron aceptables y pueden ser descritos por modelos estadísticos hasta en un 94.6 % para el rendimiento ponderal de los ésteres metílicos de ácidos grasos, y 1.1 % para la pérdida de rendimiento molar debida a la saponificación de triglicéridos y 2.9 % para la pérdida de rendimiento molar debida a la disolución del éster metílico en glicerol [23].

En este trabajo, el análisis de las gráficas de contorno en la Figura 2 mostró el efecto de las variables estudiadas, encontrándose que estadísticamente no existe necesidad de un pretratamiento para disminuir el contenido de ácidos grasos libres para lograr una máxima transesterificación en las grasas de ovino estudiadas, debido a que se observó un efecto negativo en el rendimiento, por lo que, en este tipo de grasas, la producción de biodiesel no se verá afectada en las propiedades del biodiesel obtenido.

IV. Conclusiones

Se evaluaron cuatro muestras de grasa de ganado ovino provenientes de la elaboración de barbacoa denominadas Gcr, Gcc, Gcon, Gc. Los cuales mostraron que la grasa de ganado ovino es un buen sustrato para ser transformado por transesterificación para la obtención de biodiesel debido a que presentó un bajo contenido estimado de ácidos grasos libres. Adicionalmente, al evaluar el efecto de la pre-esterificación, y el tiempo de reacción en la transesterificación homogénea, el máximo rendimiento de biodiesel obtenido fue del 89.4 % con una relación metanol grasa de 12:1 y 90 min de tiempo de reacción el cual se obtuvo sin un proceso de pre-esterificación con ácido como catalizador, lo que demostró que, para este residuo de grasa no es necesario la pre-esterificación para alcanzar una buena conversión. Sin embargo, se observó la necesidad de evaluar el efecto de la agitación y la cantidad del catalizador para mejorar el rendimiento.

Referencias

- [1] Chinyere B Ezekannagha, Callistus N Ude y Okechukwu D Onukwuli. «Optimization of the methanolysis of lard oil in the production of biodiesel with response surface methodology». En: *Egyptian Journal of Petroleum* 26.4 (2017), págs. 1001-1011.
- [2] M James Selvakumar y S John Alexis. «Biodiesel from goat and sheep fats and its effect on engine performance and exhaust emissions». En: *Int J Adv Engg Tech/Vol. VII/Issue II/April-June* 988 (2016), pág. 993.
- [3] Digambar Singh et al. «A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel». En: *Fuel* 262 (2020), pág. 116553.
- [4] Indu Ambat, Varsha Srivastava y Mika Sillanpää. «Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review». En: *Renewable and sustainable energy reviews* 90 (2018), págs. 356-369.
- [5] Digambar Singh et al. «Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review». En: *Fuel* 253 (2019), págs. 60-71.
- [6] Aleksandra Sander et al. «The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality». En: *Renewable energy* 118 (2018), págs. 752-760.
- [7] Vivian Feddern et al. «Animal fat wastes for biodiesel production.» En: *Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro científico (ALICE)* (2011).
- [8] JM Encinar et al. «Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content». En: *Bioresource Technology* 102.23 (2011), págs. 10907-10914.
- [9] Puneet Verma y MP Sharma. «Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks». En: *Renewable and sustainable energy reviews* 62 (2016), págs. 1063-1071.
- [10] A Vélez et al. «Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, México». En: *Archivos de zootecnia* 65.251 (2016), págs. 425-428.
- [11] Ignacio Orona Castillo et al. «Análisis microeconómico de una unidad representativa de producción de carne de ovino en el Estado de México bajo un sistema de producción semi intensivo». En: *Revista mexicana de agronegocios* 34.1345-2016-104425 (2014).
- [12] Jesús Romero Martínez. «4.1 ANTECEDENTES DE LA OVINOCULTURA EN MÉXICO». En: ()
- [13] Lindon W Mamani-Linares y Carmen Gallo. «Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballo criados bajo un sistema de producción extensiva». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 24.3 (2013), págs. 257-263.
- [14] Jesús Oliva-Montes et al. «Producción de biodiesel a partir de grasa animal utilizando catálisis heterogénea». En: *Rev. Iberoam. Cienc* 2 (2015), págs. 93-102.
- [15] César Valdez Pantoja y Graciela Untiveros Bermúdez. «Extracción y caracterización del aceite de las larvas del Tenebrio molitor». En: *Revista de la Sociedad Química del Perú* 76.4 (2010), págs. 407-414.
- [16] Henok Dagne, Rajan Karthikeyan y Sisay Feleke. «Waste to energy: response surface methodology for optimization of biodiesel production from leather fleshing waste». En: *Journal of Energy* 2019 (2019).
- [17] Jorge Ramírez Ortiz, Merced Martínez Rosales y Horacio Flores Zúñiga. «Production of biodiesel from roasted chicken fat and methanol: free catalyst». En: *Int. J. Chem. Mol. Eng.* 8 (2014), págs. 961-964.
- [18] ZHU Huaping et al. «Preparation of biodiesel catalyzed by solid super base of calcium oxide and its refining process». En: *Chinese Journal of Catalysis* 27.5 (2006), págs. 391-396.
- [19] M Berrios et al. «Study of esterification and transesterification in biodiesel production from used frying oils in a closed system». En: *Chemical Engineering Journal* 160.2 (2010), págs. 473-479.
- [20] Anildo Cunha Jr et al. «Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes». En: *Fuel* 105 (2013), págs. 228-234.
- [21] Metin Gürü et al. «Biodiesel production from waste animal fat and improvement of its characteristics by synthesized nickel and magnesium additive». En: *Energy conversion and Management* 50.3 (2009), págs. 498-502.
- [22] Joana M Dias, Maria CM Alvim-Ferraz y Manuel F Almeida. «Production of biodiesel from acid waste lard». En: *Bioresource technology* 100.24 (2009), págs. 6355-6361.
- [23] Luis Fernando Bautista et al. «Optimisation of FAME production from waste cooking oil for biodiesel use». En: *Biomass and Bioenergy* 33.5 (2009), págs. 862-872.

System for in-out staff's control and record body temperature

Sistema para el control de entrada y salida del personal y registro de temperatura corporal

Yolanda Marysol Escorza-Sánchez^{*1}, Cuitláhuac Alamilla-Cintora¹, Héctor Eduardo Mendoza-Espinoza², and Israel Rebolledo-Hernández¹

¹ Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital (UTVM),
Tecnologías de la Información,

Carr. Ixmiquilpan-Capula km. 4, El Nith, Ixmiquilpan, Hgo., México, 42300.

² Universidad Politécnica de Tulancingo (UPT),

Gestión de la Mercadotecnia y la Innovación,

Calle Ingenierías No. 100 Col Huapalcalco, Tulancingo, Hgo., México, 43629.

{yescorza,calamilla}@utvm.edu.mx, hector.mendoza@upt.edu.mx, israelrh78@gmail.com

Abstract

For the return to activities after the COVID-19 pandemic, it was necessary to have health filters in the buildings access that help to detect people with symptoms. This project is an access control system of the personnel that access into a company and record their respective body temperature measurement. The Scrum methodology was used, and the software tools were: MySQL, DBDesigner, Node.js, HTML5, Visual Studio Code, Github and XAMPP. Access control is achieved by reading a QR code through a smartphone camera which opens a digital credential that allows you to record access date. The temperature is taken by a thermographic camera installed on a pedestal that contains a microcomputer that sends to a database the temperature readings, this system deny access through an alarm when detects that the indicated security conditions are not met.

Keywords— Staff check-in system, COVID-19, Record body temperature

Resumen

Para el retorno a las actividades presenciales, después de la pandemia por COVID-19, fue necesario colocar filtros sanitarios en los accesos a edificios para detectar a personas con síntomas. Este proyecto es un sistema para controlar el

ingreso del personal a una organización y su respectiva toma de temperatura corporal. Se utilizó la metodología Scrum y las herramientas de software fueron: MySQL, DBDesigner, Node.js, HTML5, Visual Studio Code, Github y XAMPP. El control de acceso se logra mediante la lectura de un código QR a través de la cámara fotográfica de un teléfono inteligente el cual apertura una credencial digital que registra datos de entrada. La toma de la temperatura es por medio de una cámara termográfica instalada sobre un pedestal que contiene una microcomputadora que envía a una base de datos las lecturas de la temperatura, el sistema restringe la entrada a través de una alarma si detecta que no se cumple con las condiciones de seguridad indicadas.

Palabras clave— Control de acceso de personal, COVID-19, registro de temperatura corporal

I. Introducción

El coronavirus SARS-Cov-2 apareció en China en el año 2019, después se extendió a todos los continentes del mundo convirtiéndose en pandemia. Este virus provoca la enfermedad denominada COVID-19 [1].

Las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en torno a esta pandemia fueron: evitar espacios cerrados, congestionados o que entrañen contactos cercanos; procurar reuniones al aire libre, abrir

* Autor de correspondencia

ventanas, utilizar una mascarilla [2], lavado de manos y distancia de 1.5m entre personas [3].

A más de un año de confinamiento ha sido notable la disminución en el número de contagios, hospitalizaciones y muertes por COVID-19, debido a las prácticas de higiene, la aplicación de vacunas y a la aparición y detección de medicamentos efectivos; lo que ha permitido el retorno a las actividades presenciales sin dejar de lado las medidas de salud antes mencionadas.

Por esta razón se propone un sistema que controle tanto el ingreso del personal a su lugar de trabajo, como el registro de su temperatura corporal; que posibilite tomar acciones correspondientes de una manera segura y rápida como medida que permita un retorno adecuado.

El artículo se redacta de la siguiente manera: en la Sección II se presenta el marco teórico que incluye los conceptos más relevantes relacionados con el tema de estudio; en la Sección III se abarca la descripción del proyecto que presenta la problemática y los objetivos; los materiales y métodos empleados para el desarrollo del proyecto se muestran en la Sección IV; los requerimientos para la implementación se muestran en la Sección V; la Sección VI está destinada para mostrar los resultados y finalmente, en la última sección se abordan las conclusiones.

II. Marco teórico

A lo largo de la historia, para el control de entrada y salida del personal en una organización se han utilizado diversas herramientas que van desde el registro manual en algún formato, relojes checadores, tarjetas de banda magnética o con código de barras, tecnologías de proximidad, tecnologías biométricas, hasta tecnologías para prevenir virus con lectores de temperatura.

El reloj checador fue inventado por la empresa Kronos a mediados del siglo XIX [4] y hasta la fecha sigue en uso; utiliza una tarjeta de cartulina que imprime a tinta la fecha y hora de entrada y salida.

El registro de asistencia mediante tarjeta de banda magnética apareció en los años 80's y funciona a través de un deslizamiento manual para transferir la información no cifrada de la credencial a un lector [5].

El código de barras se inventó hace aproximadamente 40 años y se ha ocupado principalmente para identificar los productos en venta en comercios y también se han colocado en tarjetas para el control de asistencia. Funciona codificando datos en una imagen formada por combinaciones de barras y espacios. Dichas imágenes son leídas por equipos ópticos a través de los cuales se pueden comunicar datos a la computadora [6].

La tecnología RFID (siglas en inglés de Identificación por Radio Frecuencia), tiene sus orígenes en la segunda guerra mundial, y era utilizada para distinguir aviones

del mismo bando o de bando contrario que regresaban [7]. En los años 90's se inició su empleo para el reconocimiento de productos principalmente, además se han utilizado para controlar los accesos del personal por medio de una tarjeta que contiene datos almacenados y que son detectados cuando se presentan a unos pocos centímetros del lector, razón por la cual, es nombrada tecnología de proximidad [8].

Las tecnologías biométricas permiten la identificación y/o la autenticación automática de una persona a través del análisis de sus características físicas o de comportamiento. Se consideran tecnologías biométricas fisiológicas las relacionadas con la huella dactilar, reconocimiento facial, de iris, de retina, de la geometría de la mano, vascular, entre otras [9].

Los códigos QR (siglas en inglés de Quick Response Code, Código de Respuesta Rápida) tienen su origen en Japón en el año 1994. "Un código QR es un método de representación y almacenamiento de información en una matriz de puntos bidimensional" [10]. Físicamente cuentan con tres cuadrados en sus esquinas que facilitan el proceso de lectura [11]. Los códigos QR almacenan información "que al ser decodificada mediante un dispositivo lector (que puede ser el propio teléfono móvil, tableta digital o webcam), redirige a una página web que el usuario puede consultar a través de su dispositivo móvil" [12]. De ahí su utilidad para compras a distancia en librerías, en el canje de boletos de aeropuertos comprados desde Internet, en anuncios de prensa y revistas, en monumentos arqueológicos, en la creación de cuestionarios, en el control de acceso o asistencia del personal mediante el escaneo del código QR por medio de un teléfono inteligente que registra los datos de entrada y salida del mismo, entre otros.

A raíz de la pandemia, cada vez se hacen más necesarios los dispositivos que permitan controlar el acceso y a la vez la toma de la temperatura corporal del personal de una organización.

A continuación se mencionan algunas empresas y herramientas para el control de acceso y temperatura corporal, que actualmente ofrecen una solución similar a la propuesta y que conforman el estado del arte:

- Kimaldi ha desarrollado un sistema que a través de terminales y una cámara termográfica detecta la temperatura corporal de los usuarios en el control de acceso, también verifica si el usuario porta o no cubrebocas. El control de acceso se realiza a través de reconocimiento facial o con tarjetas RFID, sin contacto entre la persona y la terminal que permite detectar usuarios con una posible infección a través de una cámara termográfica. Aporta información en tiempo real de los eventos, estado de las puertas e historial de alertas [13].
- Steren también ha desarrollado una herramienta

para controlar el acceso por medio de cámaras de alta definición que permiten el reconocimiento facial y guardan los rostros en una base de datos, detecta mascarillas y cascos. Además, lleva a cabo la toma de la temperatura mediante un infrarrojo que realiza dicha medición sin contacto. Guarda los registros realizados con posibilidad de descarga [14].

- FactorLed es otra marca que ofrece una tecnología similar a la mencionada anteriormente, esta tecnología se utiliza para el control de temperatura sin contacto a través de un termómetro infrarrojo y acceso por reconocimiento facial. Restringe la entrada en los casos de que el usuario no cumpla con las condiciones de seguridad indicadas, por ejemplo: temperatura elevada o que no porte cubrebocas, esta herramienta no genera reportes [15].
- El modelo ASI7213X-T1 de DAHUA es una terminal de reconocimiento facial sin contacto que incluye una tecnología térmica para la detección de temperatura corporal mediante un sensor y rostros con cubrebocas, este modelo carece de reportes estadísticos [16].
- Orbita es el último ejemplo de sistemas de control de entrada y salida y toma de temperatura corporal que se mencionan en este documento. Consta de una cámara termográfica y un ordenador industrial, que en sus versiones PRO y PREMIUM incluye una pantalla para mostrar instrucciones de uso, estado de la temperatura y un dispensador automático de gel con sensor de proximidad. Orbita puede interactuar con algún otro sistema cliente para el control de acceso [17].

III. Descripción del Proyecto

Para garantizar el buen estado de salud de las personas en el retorno a las actividades presenciales en organizaciones, es necesario llevar a cabo las recomendaciones de las autoridades sanitarias antes mencionadas, además contar con filtros sanitarios en cada entrada a los edificios que ayuden a detectar personas con síntomas de COVID-19 de forma oportuna.

Algunas organizaciones han optado por colocar a su personal con termómetros infrarrojos en forma de pistola para tomar la temperatura de las personas que ingresan. Cabe mencionar que con este procedimiento se tienen los siguientes inconvenientes:

1. No se puede registrar la temperatura del usuario en una base de datos, como tampoco la fecha y hora de la medición. Por lo que el control en el ingreso del personal resulta deficiente.
2. El proceso de ingreso al edificio se torna lento en las horas pico debido al tiempo necesario para realizar

la medición en cada persona, originándose aglomeraciones y en consecuencia nuevos contagios.

3. También la corta distancia necesaria para realizar la medición pone en riesgo elevado de contraer el virus al operador del termómetro.
4. Se ha demostrado que cualquier termómetro digital va a generar lecturas incorrectas si sus baterías no se encuentran con suficiente carga.

Por lo que a continuación se presenta una propuesta que hace uso de una cámara termográfica de alta precisión instalada sobre un pedestal que mide la temperatura corporal de una persona a una distancia de hasta tres metros, distancia suficiente que garantiza ningún riesgo al personal de operación de los pedestales. Si se detecta una temperatura elevada indica un posible caso de COVID-19, por lo que el sistema emitirá una alerta para que se actúe de forma pertinente.

Con el uso de estos pedestales una persona invierte pocos segundos en registrar su entrada por medio de su credencial física o con un código QR a través de un teléfono inteligente y en que se capture la imagen de su temperatura corporal, por lo que así se evitarán aglomeraciones. La imagen obtenida se guarda en una base de datos junto con la fecha y hora de ingreso a través de la aplicación web, para que también, por medio de la misma se pueda realizar monitoreo continuo y generar reportes por lapsos de tiempo. Además, esto permite tener un registro detallado de la hora de entrada y salida del personal.

El objetivo general del proyecto es desarrollar una aplicación web que permita identificar al personal de una organización y registrar su temperatura corporal al momento de ingresar a las instalaciones, para detectar y gestionar posibles casos de COVID-19.

Cabe mencionar que la organización para la cual se elaboró dicho proyecto denominada AIRA [18] es la que ha desarrollado estos pedestales cuya característica es que se componen por una microcomputadora que conecta a la cámara termográfica con los sensores y envía información de estas lecturas a una base de datos mediante Internet.

IV. Materiales y métodos

La metodología de desarrollo del sistema fue Scrum, se eligió una metodología ágil dado que se adapta al desarrollo de proyectos empleando corto tiempo, con equipos de trabajo de pocos integrantes y se adapta muy rápido al cambio, además de ser una metodología iterativa que consta de cinco fases.

En la primera fase denominada Iniciación se realizaron reuniones virtuales en la plataforma Zoom que permitieron al equipo de trabajo identificar a los interesados

del proyecto, que en este caso fueron empleados o trabajadores de alguna organización y los encargados de recursos humanos; se identificó al docente que fungió como Scrum Master; se establecieron los objetivos del proyecto y fueron los siguientes:

- Interpretar de manera adecuada las lecturas de la cámara termográfica enviadas a la computadora.
- Registrar la temperatura corporal de las personas que ingresan a la organización para que permita tomar decisiones pertinentes al respecto.
- Registrar la fecha y la hora de entrada del personal de una organización mediante una forma segura a través de la lectura de código QR desde el teléfono inteligente evitando contagios por pandemia.
- Realizar el diseño y modelado de la base de datos para el almacenamiento del catálogo del personal, las temperaturas y asistencia del mismo al momento del ingreso.
- Realizar reportes de acceso del personal que posibiliten la toma de decisiones.
- Configurar el ambiente de desarrollo que permita construir de manera eficaz y eficiente el sistema.
- Realizar las pruebas unitarias y de integración en un ambiente de desarrollo.

En la fase llamada Planeación y Estimación se establecieron los requerimientos mediante historias de usuario. Se crearon cuatro bloques de trabajo ordenados por prioridad de entrega: 1. Usuarios, 2. Credenciales, 3. Control de acceso y 4. Reportes. Cada uno de los bloques corresponden al número de iteraciones (sprint) que se realizaron, siendo la creación de usuarios (el personal que ingresa) el primer entregable. También se elaboraron Mockups para el diseño de prototipos de interfaces.

En la tercera fase denominada Implementación se creó el primer entregable relacionado con el primer sprint y se añadieron funcionalidades que no se habían contemplado en una primera instancia. En la siguiente fase denominada Revisión y Retrospectiva se comparó el primer bloque de trabajo con el objetivo deseado, nuevamente se realizaron reuniones virtuales con el equipo de trabajo Scrum a través de la plataforma de Zoom.

La última fase es el Lanzamiento o Cierre, se realizaron las pruebas del primer bloque del sistema web y se comprobaron los cambios solicitados. Una vez concluido el primer bloque se continuó con el bloque de Credenciales y se volvió a iterar. Se repitieron las iteraciones hasta dar por concluidos los bloques, posteriormente se elaboró la documentación del sistema en su primera versión.

Las herramientas de software utilizadas fueron: MySQL para el almacenamiento de la información del personal, registro de acceso y temperatura; DBDesigner para el modelado de la base de datos; Node.js y HTML5 como lenguajes de programación web; Visual Studio Code como

framework de desarrollo; Github para el almacenamiento y control del versionamiento y XAMPP como servidor de Internet.

V. Proceso de implementación

El dispositivo indispensable para su implementación es sin lugar a duda adquirir el pedestal de la empresa AIRA Solutions que cuenta con una cámara termográfica y una microcomputadora y que permite enviar las lecturas de temperatura corporal a una base de datos. Dicho pedestal debe instalarse en los accesos de la organización. También se requiere contar con un equipo con conexión a Internet dentro de la organización (en alguna oficina) para realizar la administración de los usuarios, credenciales y monitoreo de los accesos.

El teléfono inteligente del personal debe tener una cámara que posibilite la lectura del código QR, así como conexión a Internet.

VI. Resultados

A continuación se muestra evidencia de los principales resultados del sistema web que se encuentra adaptado al personal y alumnos de Instituciones de Educación Superior.

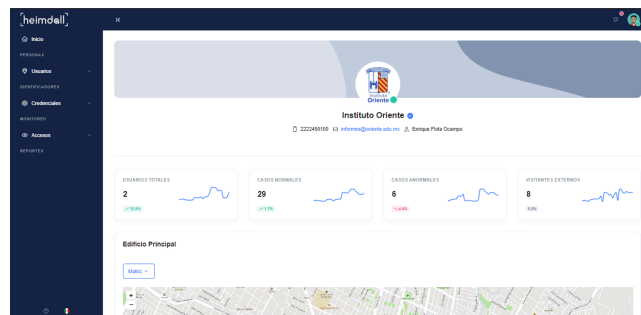


Figura 1: Menú principal

En la Figura 1 se muestra el menú principal de la aplicación a la que se le denominó *Heindall*, el cual está formado por: Inicio, Personas, Usuarios, Identificadores, Credenciales, Monitoreo, Accesos y Reportes.

La Administración de usuarios permite identificar cuatro tipos de usuarios, relacionados con el personal que ingresa a una organización en este caso, se distinguen Estudiantes, Empleados, Proveedores y Visitantes, tal como lo muestra la Figura 2.

En la Figura 3 se ejemplifica la creación de nuevos usuarios, de manera específica, el tipo de usuario es un alumno que actualmente cursa una maestría en diseño industrial, en una modalidad cuatrimestral en el turno matutino.

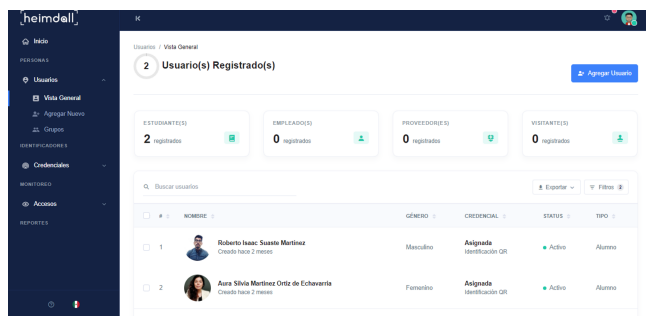


Figura 2: Administración de usuarios

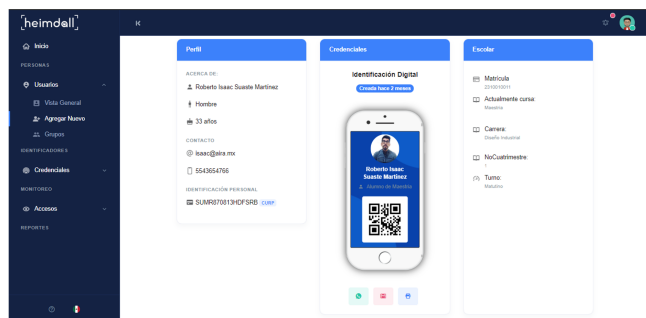


Figura 3: Creación de nuevos usuarios

En la Figura 4 puede apreciarse la Gestión de Credenciales, en donde se encuentra asociada una credencial al personal que labora en la organización, así como también su representación mediante código QR, su estatus y vigencia.

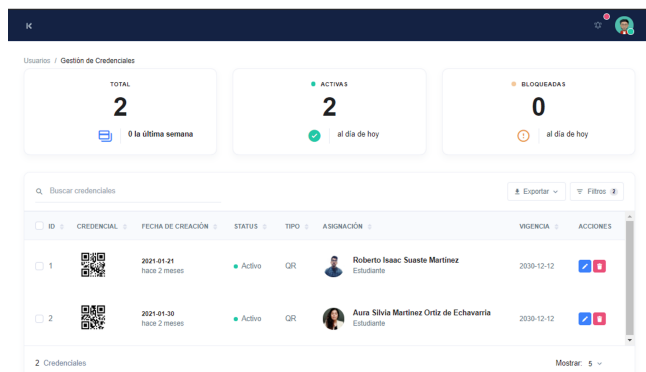


Figura 4: Gestión de credenciales

En el control de acceso a los usuarios se registra el personal que ingresó, su tipo, credencial, el pedestal donde realizó su toma de temperatura, su temperatura corporal, fecha y hora (en la Figura 5 se aprecia este registro). La utilidad de estos tres valores permite llevar un registro de la fecha y hora de la entrada/salida de la comunidad universitaria y visitantes, así como también, queda registrada su temperatura.

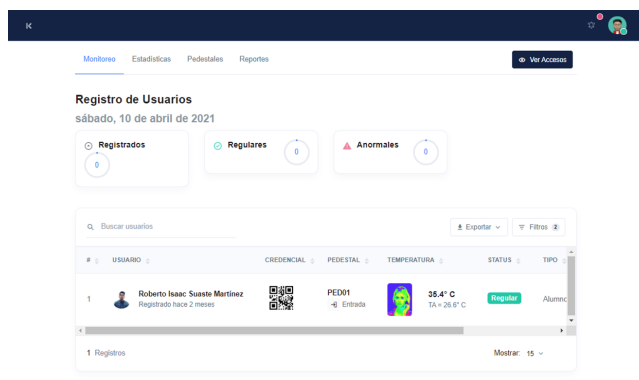


Figura 5: Ingreso del personal y registro de temperatura

Esto permite facilitar el ingreso seguro a la institución y también la generación de estadísticos de la temperatura que posibilitan el análisis de esta, por grupos o grados, que permiten la toma de decisiones, en este caso, la suspensión de las clases o el trabajo virtual en aquellos grupos con más incidencias relacionadas con la temperatura superior a los límites permitidos por las instituciones de salud.

El sistema está pensado en que la organización tuviera más de un solo de acceso y en cada uno un pedestal. Por tanto, permite el monitoreo de las entradas del personal por distintas puertas, en este caso la Figura 6 incluye dos accesos además del estacionamiento.

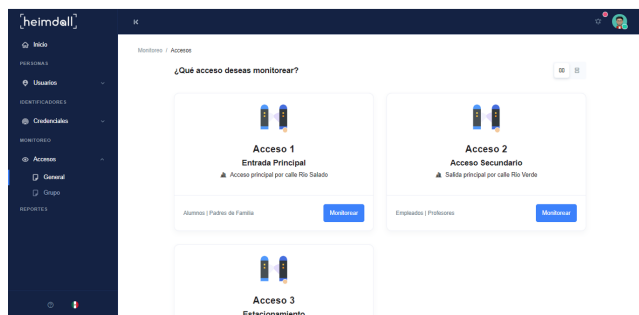


Figura 6: Monitoreo de acceso

El sistema antes mencionado fue sometido a pruebas unitarias de: contenido, rendimiento, interfaz de usuario, validación, de integración, entre otras, y los resultados fueron positivos.

Cabe mencionar que la contribución del proyecto fue el registro de la asistencia mediante la lectura de un código QR por parte de un teléfono inteligente, la interpretación adecuada de las lecturas de las temperaturas corporales que emite la cámara termográfica de AIRA y que son enviadas desde la microcomputadora del pedestal hacia una base de datos.

Esto permitió recabar información para el monitoreo del acceso del personal, fortaleciendo la toma de deci-

siones a los directivos a través de reportes generados en tiempo real.

La fortaleza de esta herramienta en conjunto (cámara termográfica de AIRA, registro de asistencia a través de código QR e interpretación adecuada de los datos), con respecto a las mencionadas en el estado del arte es la toma de la temperatura mediante una cámara termográfica; los productos de Steren, FactorLed y DAHUA realizan esta medición mediante termómetros infrarrojos y sensores, mientras un termómetro de infrarrojos sólo mide la temperatura de un sólo punto, es decir, un píxel o punto de medición, una cámara termográfica detecta miles de píxeles o puntos de medición a la vez, por lo que se considera una ventaja.

La herramienta propuesta en este proyecto además de estar formada por el pedestal, posee una microcomputadora que conecta a la cámara termográfica con los sensores y envía información de estas lecturas a una base de datos mediante Internet. Esto le permite la generación de reportes como: registros de entrada y salida del personal, usuarios totales, casos normales, casos anormales y visitantes.

Las herramientas de FactorLed y DAHUA no permiten la generación de este tipo de reportes, Orbita tampoco genera reportes, solo posibilita la interacción con sistemas de cliente para control de acceso.

Por otro lado, en esta herramienta propuesta se permite el registro de la asistencia mediante la lectura de un código QR, la herramienta de Kimaldi es la que posee características muy similares a la propuesta, solo que la herramienta propuesta contempla la gestión de accesos y credenciales.

VII. Conclusiones

El resultado de este proyecto es sin lugar a dudas una herramienta valiosa en estos tiempos de pandemia y post pandemia, ya que permite controlar y monitorear el acceso del personal que ingresa a una organización mediante una credencial digital que se lee desde el teléfono inteligente y a través del código QR facilita el acceso seguro, también se puede registrar su temperatura corporal, sin necesidad de contacto y restringe la entrada a personas que detecta que no cumplen con las condiciones de seguridad indicadas.

Por consiguiente, se puede concluir que los objetivos propuestos en el presente proyecto fueron alcanzados. De manera adicional, se puede decir que en situaciones difíciles donde se pone en riesgo la salud, las Tecnologías de la Información se tornan convenientes ya que representan una alternativa para apoyar el retorno seguro a las actividades cotidianas.

Agradecimientos

Gracias a la empresa AIRA Solutions por las facilidades para la realización de este proyecto.

Referencias

- [1] Herlinda Gervacio Jiménez y Benjamín Castillo Elías. «Impactos de la pandemia covid-19 en el rendimiento académico universitario durante la transición a la educación virtual». En: *Revista pedagógica* 23 (2021), págs. 1-29.
- [2] Gerardo Cruz Reyes y Martha Patricia Patiño Fierro. *Las medidas del Gobierno Federal contra el virus SARS-CoV2 (COVID-19)*. Inf. téc. 2020.
- [3] *Curso Recomendaciones para un retorno seguro ante COVID-19: Medidas*. URL: <https://climss.imss.gob.mx/cursos/covid5/index.php>.
- [4] Viridiana Mendoza Escamilla. *Kronos: Tu Productividad ahora tiene cara de red social*. Abr. de 2018. URL: <https://www.forbes.com.mx/kronos-tu-productividad-ahora-tiene-cara-de-red-social/>.
- [5] HID Global Corporation ASSA ABLOY AB. *Una breve historia de las credenciales de control de acceso: cómo ha evolucionado la tecnología para reducir los puntos vulnerables*. https://www.hidglobal.mx/doclib/files/resource_files/pacs-card-evolution-eb-sp.pdf. 2020.
- [6] Miguel Magos Rivera, Ricardo Godínez Bravo e Ivonne Karina Rodríguez Islas. «Sistema de registro de datos vía RFID y código de barras». En: *Pistas Educativas* 38.120 (2018).
- [7] Alejandro Alvarez-Marin y Mauricio Castillo-Vergara. «Estrategias para Acercar la Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia a la Formación de Futuros Ingenieros Industriales». En: *Formación universitaria* 8.1 (2015), págs. 23-34.
- [8] Juan Carlos Herrera Lozada, Patricia Pérez Romero y Magdalena Marciano Melchor. «Tecnología RFID Aplicada al Control de Accesos». En: *Polibits* 40 (2009).
- [9] Miguel Rodríguez-Piñero Royo. «Las facultades de control de datos biométricos del trabajador». En: (2019), págs. 91-109.
- [10] Luque Ordóñez Javier. «Códigos QR». En: *Revista Digital ACTA* 1 (2012).
- [11] Javier Leiva-Aguilera. «Introducción y algunos usos de los códigos QR». En: *Anuario ThinkEPI* 6 (2012), págs. 309-312.

- [12] Universidad Autónoma del Estado de México. *QR code*. http://planeacion.uaemex.mx/InfBasCon/capacitacioninterna/QR/QR_code.pdf. 2013.
- [13] Kimaldi. *Control de temperatura corporal en el control de acceso*. https://www.kimaldi.com/aplicaciones/control_de_acceso/control-de-temperatura-corporal-en-el-control-de-acceso/. 2021.
- [14] Steren. *Control de acceso con medición de temperatura, reconocimiento facial, de cubrebocas y casco*. <https://www.steren.com.mx/control-de-acceso-con-medicion-de-temperatura-reconocimiento-facial-de-cubrebocas-y-casco.html>. 2021.
- [15] Factor Led. *Dispositivo Control de Temperatura y Acceso por reconocimiento facial*. <https://www.factorled.com/blog/es/dispositivo-control-de-temperatura-y-acceso-por-reconocimiento-facial/>. 2020.
- [16] DAHUA. *DAHUA ASI7213XT1- Control de acceso STANDALONE por Reconocimiento Facial con Detección de Temperatura*. <https://tvc.mx/products/33740/control-de-acceso-interior-de-temperatura>. 2022.
- [17] ORBITA. *Sistema de Control de Temperatura Corporal*. <https://www.orbitaingenieria.com/producto/sistema-de-control-de-temperatura-corporal/>. 2022.
- [18] Aira. *Aira future*. <https://www.linkedin.com/company/airafuture/about/>. 2022.

IoT system prototype for outdoor Air Quality Monitoring in the Port of Manzanillo

Prototipo de un Sistema IoT para el Monitoreo de la Calidad del Aire en Exteriores en el Puerto de Manzanillo

Rosa Elizabeth Bermúdez Padilla^{*1}, Omar Álvarez Cárdenas¹, Margarita G. Mayoral Baldivia¹, Raúl Teodoro Aquino Santos¹, Fernando Pech May², and Rafael Prieto Meléndez³

¹Universidad de Colima (UDC),
Facultad de Telemática,

Av. Universidad No. 333, Las Víboras, CP 28040 Colima, Colima, México.

²Instituto Tecnológico Superior de los Ríos,

Km 3 Carretera Balancán – Villahermosa, C.P 86930, Balancán, Tabasco, México.

³Universidad Nacional Autónoma de México,

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología,

Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México, México.

{bermudez_padilla, xe1aom, mglenda, aquinor}@ucool.mx,fernando.pech@investav.mx,rafael.prieto@icat.unam.mx

Abstract

Nowadays, measuring outdoor air quality is vitally important in most industrialized cities. The gases of interest for monitoring in this project are nitrogen dioxide NO_2 , sulfur dioxide SO_2 , suspended particulate matter $PM_{2.5}$ and PM_{10} , carbon monoxide CO , because these are the criteria pollutants that regulate air quality due to their concentration. A COTS prototype was designed to measure outdoor air quality will be designed and installed in the municipality of Manzanillo, Colima. This municipality is a critical point where the levels of environmental pollution have risen due to the growth of companies, hotels, thermoelectric power plant, mining consortium, and the large amount of activity related to its marine harbor. As a implementation result in a controlled location, the prototype properly get analog data from the SCD30 sensor, sends what it detects to the IoT server as well as its representation in graphs and history of each data which are temperature, humidity, and CO_2 .

Keywords— IoT, air quality outdoor, COTS

Resumen

En la actualidad, medir la calidad del aire en exteriores es de vital importancia en las ciudades más industrializadas. Entre los gases de interés a monitorear son dióxido de nitrógeno NO_2 , dióxido de azufre SO_2 , material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} , monóxido de carbono CO , ya que son los contaminantes criterio, debido a su concentración estos regulan la calidad del aire. Se diseñó un prototipo COTS para medir la calidad del aire en exteriores en el municipio de Manzanillo, en el estado de Colima. Este municipio es un punto crítico donde los niveles de contaminación ambiental se han incrementado por el aumento de empresas, hoteles, la central termoeléctrica, consorcios mineros y la gran cantidad de actividad relacionada con el Puerto de Manzanillo. Como resultado de la implementación en un lugar controlado, el prototipo obtiene de manera apropiada los datos analógicos del sensor SCD30, envía lo que detecta al servidor IoT así como su representación en gráficas e historial de cada dato que son temperatura, humedad y CO_2 .

Palabras clave— IoT, calidad del aire exterior, COTS

* Autor de correspondencia

I. Introducción

El ser humano es susceptible a desarrollar problemas de salud cuando se está expuesto a la contaminación ambiental. Entre las principales enfermedades se pueden mencionar las respiratorias, cerebrovasculares, cardiopatías, neumopatías y cáncer de pulmón. Ante esta situación, la Asamblea General de las Naciones Unidas (AGNU), en el 2015 agregó como meta la mejoría del aire y evitar agravar la situación en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, tomando las referencias en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- 3.9: “reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la contaminación del aire, agua y suelo” [1].
- 7: “garantizar a la población el acceso universal de servicios energéticos fiables y modernos para todos” [2].
- 11.6: “reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo” [3].
- 13: “adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” [4].

La calidad del aire en exteriores y sus diferentes contaminantes se han convertido en un tema de relevancia en todo el mundo. En el año 2016, de acuerdo con la información proporcionada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se obtuvo el registro de 4.2 millones de muertes causadas por enfermedades en las vías respiratorias. Este es un dato alarmante, ya que representaba en esa fecha que una de cada ocho personas en el mundo moría por circunstancias debidas a la mala calidad del aire. Se realizaron esfuerzos internacionales para atender esta situación, sin embargo, hasta 2019 el 99 % de la población mundial continuaba viviendo en lugares donde no se respetan las directivas aplicables a la calidad del aire [5].

En México, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), cuenta con estudios y mediciones históricas de los gases contaminantes presentes en el aire. Esta información es un insumo utilizado por múltiples organizaciones para el análisis y creación de normativas, así como proyectos encaminados a mitigar los efectos de la salud generados por una mala calidad del aire. Todas estas acciones motivan a implementar desarrollos tecnológicos que permitan vigilar, analizar y mejorar la calidad del aire que respiramos.

La OMS establece ciertas directrices que describen de manera precisa los límites en los contaminantes ambientales, de eso se desprenden riesgos en la salud y entorno, de manera que se presentan en la Tabla 1 y se considerarán para el monitoreo y estudio [5].

Tabla 1: Directrices de la OMS sobre los contaminantes atmosféricos

Contaminantes	Valores fijados
Materia particulada $PM_{2.5}$	<ul style="list-style-type: none"> ■ $5\mu g/m^3$ de media anual ■ $5\mu g/m^3$ de media diaria
Materia particulada PM_{10}	<ul style="list-style-type: none"> ■ $15\mu g/m^3$ de media anual ■ $45\mu g/m^3$ de media diaria
Ozono (O_3)	<ul style="list-style-type: none"> ■ $100\mu g/m^3$, máximo diario de periodo por 8 horas * ■ $6\mu g/m^3$, promedio de periodos de 8 horas, temporada máxima **
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	<ul style="list-style-type: none"> ■ $10\mu g/m^3$ de media anual ■ $25\mu g/m^3$ de media diaria
Dióxido de azufre (SO_2)	<ul style="list-style-type: none"> ■ $40\mu g/m^3$ de media diaria

* Percentil 99 (es decir, 3-4 días de superación por año).

** La temporada máxima se define por la media de concentraciones máximas diarias de O_3 en periodos de 8 horas durante los seis meses consecutivos con el promedio móvil más alto.

En México existen normas para controlar la cantidad de contaminantes presentes en el medio ambiente, inicialmente se aplicaron en la Ciudad de México, pero conforme se incrementaron las problemáticas de salud ambiental al resto del territorio nacional, la implementación se extendió. En la actualidad, el Gobierno Federal es el responsable de actualizar y establecer los estándares para la salud pública y su vigilancia, ellos lo publican en la Norma Oficial Mexicana (NOM) y son de carácter obligatoria en todo el país, en la redacción describen los límites para los contaminantes y constantemente son revisadas para estar a la vanguardia. Dentro de la NOM en el monitoreo de la calidad del aire se trabajan 2 tipos: uno es la salud ambiental y otro aborda las técnicas donde se definen que métodos de medición se deben realizar.

A partir del 18 de febrero de 2020 entró en vigor la NOM-172-SEMARNAT-2019 [6], en ella se definen los diferentes tipos de contaminantes, su nivel de riesgo y los valores que deben tomarse en cuenta con cierto tiempo de exposición.

El desarrollo de la tecnología y dispositivos COTS (siglas en inglés de Commercial Off- The- Shelf), son de gran utilidad para determinar la calidad del aire. Cuando se aplica de manera correcta, ayuda a reducir costos,

La distribución de las conexiones físicas de entrada y salida del módulo sensor SCD30 se muestran en la Figura 2. Para la conexión del sensor al NodeMCU ESP8266, requerimos únicamente conectar los puertos Serial Clock (SCL) y Serial Data (SDA) del SCD30 y conectarlos respectivamente a los pines de D1 y D2 del sistema embebido como se indica en la Figura 3.

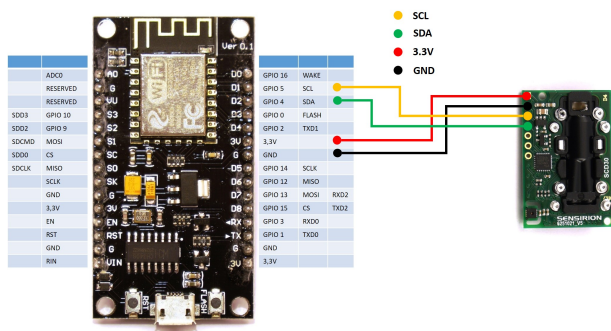


Figura 3: Conexión del SCD30 al ESP8266 [12]

II.4. ThingSpeak

ThingSpeak es una plataforma de IoT que permite recibir y almacenar, visualizar y analizar datos de sensores en la nube para su explotación en aplicaciones IoT. La plataforma está basada en Ruby on Rails (RoR), dispone de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API por sus siglas en inglés), la cual está disponible en Github para su descarga, así mismo la comunidad ofrece nuevas actualizaciones y características, cumpliendo ese principio básico lo convierte en open source.

Así mismo brinda plugins que dan la posibilidad de crear aplicaciones, soporta HTML, CSS y JavaScript, comparte también la utilización de Google Gauge Visualización, da la facilidad de mostrar los datos y la personalización de esta [13].

Esta plataforma IoT permite interactuar con una gran diversidad de hardware, los datos de los sensores pueden ser enviados desde plataformas Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone Black entre otros [14].

La cantidad de dispositivos que soporta ThingSpeak por usuario se le hace llamar canales, eso quiere decir que es el dispositivo de donde se obtendrá máximo 8 tipos de datos, que más adelante se representarán en gráficas, permite hasta 3 millones de mensajes al año y se actualiza cada 15 segundos, lo cual limita el registro gratuito.

El prototipo propuesto aprovecha estas características en ThingSpeak para registrar los niveles de contaminantes en el aire y emitir información visual de alertas cuando supere sus límites de concentración en exteriores.

II.5. Infraestructura

Para la instalación del prototipo final en el puerto de Manzanillo se requiere de cierta infraestructura física. La conexión a la red es por medio de la conexión inalámbrica WiFi existente en el interior del puerto para que el módulo WiFi del NodeMCU intercambie las mediciones de sus sensores con el servicio ThingSpeak. Con la disposición de estos requerimientos físicos es posible instalar el prototipo diseñado como se describe en la Figura 4.

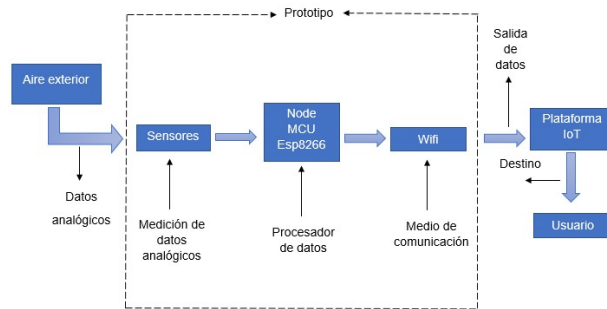


Figura 4: Diagrama de bloques

La plataforma de desarrollo conformada por el NodeMCU ESP8266 descrito en la Figura 4 realiza la comunicación y envío de información de los sensores implementados a través del módulo WiFi que tiene incorporado. Una vez enlazado a la infraestructura proporcionada por la red inalámbrica en el puerto, se hace el envío de la información a la nube IoT, el Arduino IDE será el sistema que se utilizará para la configuración, control y funcionamiento del prototipo.

El prototipo de la estación de monitoreo integra el sensor SCD30 para medir las concentraciones del CO_2 , de momento se presenta la funcionalidad y viabilidad de esta propuesta. De manera general, el sensor SCD30 permite las siguientes mediciones [11]:

- CO_2 (rango 400 ppm – 10000 ppm)
- Temperatura
- Humedad relativa

Se tiene en proceso de adquisición el módulo sensor SEN55-SDN-T, que incluye algunos de los gases en el ambiente a estudiar [15]:

- Material particulado (PM)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Humedad
- Temperatura
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Un factor importante que es necesario resaltar de este sensor es la capacidad para auto calibrarse, ya que ofrece un tiempo de respuesta de 20 segundos para la detección

de CO_2 , mientras que para el registro de temperatura y humedad es de 8 y 10 segundos respectivamente [16].

El proveedor de este módulo lo entrega calibrado para la primera instalación, por este motivo es posible recalibrar, para ello se debe aplicar el procedimiento de 7 mediciones por lo menos cada 18 horas de uso continuo.

Para la calibración y buen registro de cada uno de los contaminantes presentes en el ambiente, la NOM-172-SEMARNAT-2019 [6], ayudará a dar una correcta clasificación de los elementos que se mencionan a continuación en las tablas 2 al 7.

Tabla 2: Obtención del Índice Aire y Salud para PM_{10}

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 12 horas ($\mu g/m^3$)
Buena	Bajo	50
Aceptable	Moderado	>50 y 75
Mala	Alto	>75 y 155
Muy mala	Muy alto	>155 y 235
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>235

Tabla 3: Obtención del Índice Aire y Salud para $PM_{2.5}$

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 12 horas ($\mu g/m^3$)
Buena	Bajo	25
Aceptable	Moderado	>25 y 45
Mala	Alto	>45 y 79
Muy mala	Muy alto	>79 y 147
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>147

Tabla 4: Obtención del Índice Aire y Salud para O_3

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 8 horas (O_3) ppm
Buena	Bajo	0.051
Aceptable	Moderado	>0.051 y 0.070
Mala	Alto	>0.070 y 0.092
Muy mala	Muy alto	>0.092 y 0.114
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>0.114

Para el caso del dióxido de carbono (CO_2) aún no se encuentran directrices o investigaciones directamente de

Tabla 5: Obtención del Índice Aire y Salud para NO_2

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 1 hora (NO_2) ppm
Buena	Bajo	0.107
Aceptable	Moderado	>0.107 y 0.210
Mala	Alto	>0.210 y 0.230
Muy mala	Muy alto	>0.230 y 0.250
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>0.250

Tabla 6: Obtención del Índice Aire y Salud para SO_2

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 24 horas (SO_2) ppm
Buena	Bajo	0.008
Aceptable	Moderado	>0.008 y 0.110
Mala	Alto	>0.110 y 0.165
Muy mala	Muy alto	>0.165 y 0.220
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>0.220

Tabla 7: Obtención del Índice Aire y Salud para CO

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 8 horas (CO) ppm
Buena	Bajo	8.75
Aceptable	Moderado	>8.75 y 11
Mala	Alto	>11 y 13.30
Muy mala	Muy alto	>13.30 y 15.50
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>15.50

la OMS, Índice de Calidad del Aire (ICA) o Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA), en este sentido, la NOM-172-SEMARNAT-2019 [6] contempla el CO_2 debido a la actual importancia para determinar los niveles de calidad del aire en interiores y exteriores.

De manera similar con los contaminantes antes referidos a lo existente en la NOM-172, se consideran los resultados obtenidos en "NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior" [18], menciona como es que el habitualmente en el aire exterior

Tabla 8: Cuadro elaborado a partir de varias publicaciones internacionales, principalmente *Climate Change 1994, Intergovernmental Panel on Climate Change [17]*

Gas	Principales fuentes	Concentraciones preindustriales	Concentraciones actuales	Potenciales de calentamiento global			Crecimiento (ritmo anual)	Vida atmosférica
				20 años	100 años	500 años		
Bióxido de carbono CO_2^*	Quema de combustible fósiles, producción de cemento, etc.	280	350	1	1	1	1.6	50*200
Metano CH_4^*	Cultivo de arroz, rellenos sanitarios, ganadería, etc.	0.8	1.7	62	24.5	75	0.02	10
Óxido nítrico N_2O^*	Agricultura (pastoreo en regiones tropicales), quema de biomasa, etc.	288	310	290	320	180	0.8	150

* Partes por millón

** Partes por mil millones

se encuentra a niveles entre los 300 y 400 ppm hasta alcanzar los valores hasta 550 ppm en zonas urbanas.

En su sitio oficial, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y apoyada por “México y el cambio climático”, indica que el CO_2 se encuentra con mayor concentración en los Gases de Efecto Invernadero (GEI), de hasta 350ppm, la información se sintetiza de forma complementaria en las tablas 8 y 9.

Tabla 9: Obtención de los datos a referencias CO_2

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 1 hora (CO_2) ppm
Buena	Bajo	300
Aceptable	Moderado	>300 y 400
Mala	Alto	>400 y 600
Muy mala	Muy alto	>600 y 700
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>700

Toda la información mostrada es considerada como referencia para la implementación del prototipo para medir el en el SCD30 y el resto de los gases cuando llegue el módulo sensor SEN55-SDN-T, igualmente la utilización de todos los informes de tiempo, nivel de riesgo, etc, para cada contaminante ambiental.

III. Comunicación del microprocesador a plataforma IoT

Una de las características del NodeMCU ESP8266 es su capacidad de comunicación inalámbrica mediante las conexiones WiFi. La correcta inclusión del módulo inalámbrico del ESP8266 hacen posible que el hardware sea una gran opción para las aplicaciones de IoT con una conectividad segura basada en protocolos del modelo TCP/IP.

La configuración de los elementos por medio de Arduino IDE se logra realizar de manera simple, en especial las configuraciones seriales del módulo inalámbrico directamente a una sola plataforma de software.

Así mismo, le añadimos las ventajas del NodeMCU en integrar la diversidad de sensores analógicos y/o digitales a través de sus puertos Entrada/Salida de Propósito General (General Purpose Input/Output, por sus siglas en inglés GPIO).

Con la capacidad WiFi de esta plataforma embebida, se logra configurar el contacto con ThingSpeak para que los datos de los sensores sean visualizados, indicando su fecha y hora de captura, por lo tanto, logra ser un suministro de información para la futura toma de decisiones sobre la calidad del aire en exteriores.

IV. Resultados

La prueba del Prototipo de un Sistema IoT para el Monitoreo de la Calidad del Aire en Exteriores en el Puerto de Manzanillo se realizó en una colonia del Estado de Colima.

Se implementó el sensor SCD30 en el NodeMCU ESP8266 con su respectivo enlace a ThingSpeak, durante un periodo de 3 días, donde se realizó el registro de la temperatura, humedad relativa y CO_2 , cada 5 minutos durante 8 horas.

Con los valores obtenidos, se generan sus gráficas correspondientes indicando en el eje vertical los valores instantáneos de cada sensor y en el eje horizontal la respectiva fecha y hora, tal como se presentan en la Figura 5.

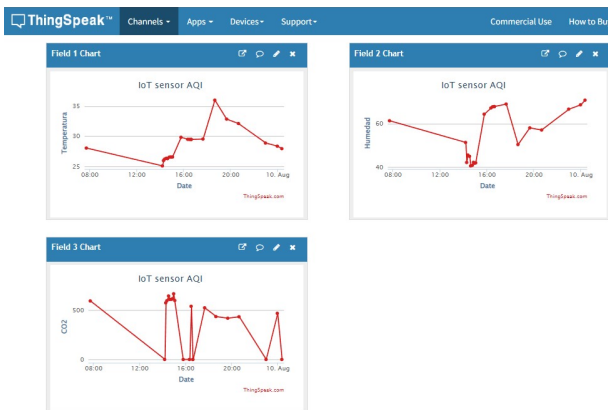


Figura 5: Muestras de los datos del sensor SCD30 en ThingSpeak

La plataforma ThingSpeak simplifica la representación de la información mediante los diferentes tipos de gráficas, así como también el acceso a ellas desde cualquier dispositivo con conexión a Internet.

En la Figura 6 se muestran los datos preliminares de los sensores en el puerto serial que se envían a la plataforma IoT. Los datos obtenidos por el sensor se compararon con la plataforma Windy.com y Weather.com.

```

COM3
-----
Iniciado STA: INFINITOM168_2.4
IP #address: 192.168.1.70
firmware version major: 3 minor: 66
CO2 ppm: 376.33 temperature: 29.13 °C humidity: 69.58 %
Calidad del aire EXCELENTE 376.33
¡Datos enviados a ThingSpeak!

CO2 ppm: 571.90 temperature: 29.15 °C humidity: 69.13 %
Calidad del aire EXCELENTE 571.90
¡Datos enviados a ThingSpeak!

CO2 ppm: 593.52 temperature: 29.40 °C humidity: 69.10 %
Calidad del aire EXCELENTE 593.52
¡Datos enviados a ThingSpeak!

CO2 ppm: 545.14 temperature: 29.30 °C humidity: 67.85 %
Calidad del aire EXCELENTE 545.14
¡Datos enviados a ThingSpeak!

```

Figura 6: Muestras de los datos del sensor SCD30 en la terminal

V. Conclusiones

El aire ambiental contaminado y su larga exposición está asociado con el aumento de enfermedades respiratorias, así como de muertes prematuras lo cual sugiere la OMS. La relación con anterioridad al monitoreo de la calidad del aire en exteriores toma relevancia, ya que instituciones internacionales, nacionales, como la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) [19] y locales, enfocan sus esfuerzos para cumplir con las ODS firmadas en la agenda 2030, del mismo modo, ofrecen a la población la información para la toma de decisiones.

En el puerto de Manzanillo debido a la gran cantidad de contaminación que provocan las industrias y el sector turístico, así como el auge de las tecnologías IoT, se creó un prototipo de bajo costo que posibilita la medición de los contaminantes con la cual se calculará el índice de la calidad del aire, se plantea que el costo en comparación con los que se encuentran en el mercado sea notable y accesible para la futura manufactura en serie y crear un sistema de monitoreo, así mismo se podrán colocar en diversas zonas del estado de Colima.

El avance de este prototipo que, en su escalabilidad, adaptabilidad, economía e integración de más sensores en el embebido, lo califican como importante y vital para el monitoreo de los contaminantes en el aire exterior y se puede lograr volverlo competitivo para lo que ya se encuentra en el mercado.

La visualización de datos en la plataforma ThingSpeak permite un entorno amigable y transparente para en un futuro se realice una mejor interpretación de la información, esta herramienta es de implementación sencilla incluso en exportar las gráficas a un portal web externo.

VI. Trabajo futuro

Se adquirió el módulo de sensores SEN55-SDN-T del fabricante Sensirion, este módulo es una solución integrada para la medición de PM, COV, NO_x , temperatura y humedad. Adicionalmente, cuenta con algoritmos patentados para su integración directa con sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heating Ventilation and Air Conditioning, por sus siglas en inglés HVAC), así como para las aplicaciones de calidad del aire.

Además, agregar más información a las gráficas que proporciona ThingSpeak con respecto a la comparativa de los niveles de calidad del aire y el valor actual de cada sensor e incluir un sistema de alimentación alterno por energías verdes para no depender del suministro eléctrico convencional, además de diseñar una caja protectora para su implementación final en exteriores.

Con el prototipo finalizado, se colocará en un punto estratégico del puerto de Manzanillo, tomará los datos de cada sensor y se visualizará en la página web, además de

agregar notificaciones tanto en el portal web, dispositivos móviles y redes sociales.

Referencias

- [1] CEPAL - Naciones Unidas. 3.9 | *Agenda 2030 en América Latina y el Caribe*. agenda2030lac.org. URL: <https://agenda2030lac.org/es/metas/39>.
- [2] CEPAL - Naciones Unidas. 7. *Energía Asequible Y No Contaminante | Agenda 2030 En América Latina Y El Caribe*. agenda2030lac.org. URL: <https://agenda2030lac.org/es/ods/7-energia-asequible-y-no-contaminante>.
- [3] CEPAL - Naciones Unidas. 11.6 | *Agenda 2030 en América Latina y el Caribe*. agenda2030lac.org. URL: <https://agenda2030lac.org/es/metas/116>.
- [4] Agenda 2030 Naciones Unidas. *Objetivo de Desarrollo Sostenible 13: Acción por el Clima*. gob.mx, sep. de 2017. URL: <https://www.gob.mx/agenda2030/articulos/13-accion-por-el-clima>.
- [5] World Health Organization: WHO. *Calidad del aire y salud*. Who.int, mayo de 2018. URL: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [6] Julio César Jesús Trujillo Segura. *DOF - Diario Oficial de la Federación*. Dof.gob.mx, nov. de 2019. URL: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019.
- [7] Arduino. *Software de Arduino | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea*. Arduino.cl, sep. de 2014. URL: <https://arduino.cl/programacion/>.
- [8] Jecrespom P. *Qué es ESP8266*. Aprendiendo Arduino, sep. de 2017. URL: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/09/12/que-es-esp8266/>.
- [9] Github.com. *esp8266/Arduino*. GitHub, mayo de 2019. URL: <https://github.com/esp8266/Arduino>.
- [10] Un electrónica. *Módulos ESP8266*. UN ELECTRONICA, abr. de 2017. URL: <https://unelectronica.github.io/Modulos-esp8266/>.
- [11] Uelectronics.com. *Pinout del SCD30*. 2022. URL: <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2022/01/AR2952-SCD30-Sensor-de-Calidad-del-Aire-CO2-PINOUT.jpg>.
- [12] Byte Your Life. *Bauanleitung – CO2 Ampel für bessere Raumluft im Bilderrahmen | ByteYourLife.com*. byteyourlife, dic. de 2020. URL: <https://www.byteyourlife.com/top-story/bauanleitung-co2-ampel-fuer-bessere-raumluft-im-bilderrahmen/8471>.
- [13] Manuel Alonso Rosa. *IoT: El Internet de las cosas en las empresas Cordobesas - ThingSpeak*. sites.google.com. URL: <https://sites.google.com/ieslafuentsanta.es/iot/proceso/estudio-plataformas-iot/software/thingspeak>.
- [14] ThingSpeak. *IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*. thingspeak.com. URL: <https://thingspeak.com>.
- [15] Sensirion. *Datasheet SEN5x Environmental Sensor Node for HVAC and Air Quality Applications*. Sensirion, mar. de 2022. URL: https://sensirion.com/media/documents/6791EFA0/62A1F68F/Sensirion_Datasheet_Environmental_Node_SEN5x.pdf.
- [16] Mariete. *Sensor de CO2 NDIR Sensirion SCD30 dual-channel*. eMariete, sep. de 2021. URL: <https://emariete.com/sensor-co2-ndir-sensirion-scd30-dual-channel/>.
- [17] INECC. *Instituto Nacional de Ecología, México y el cambio climático*. URL: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/32/cap1.html>.
- [18] Maria José Berenguer Subils y Félix Bernal Domínguez. *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. Ministerio de trabajo y asuntos sociales España. URL: https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074.
- [19] *Recomendación General 32/2018 | Comisión Nacional de los Derechos Humanos - México*. www.cndh.org.mx, 2018. URL: <https://www.cndh.org.mx/documento/recomendacion-general-322018>.

Comparative analysis of the impact on high school students: online classes vs. face-to-face classes

Análisis comparativo del impacto en los estudiantes de educación media superior: clases en línea - clases presenciales

Pedro Rodríguez-Juárez*¹ and Susana Burnes-Rudecino¹

¹Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Unidad Académica Preparatoria,
Av. López Velarde 801, Col. Centro, Zacatecas, Zac., México, 98000.

pedrordz@uaz.edu.mx, sl_burnesr@uap.uaz.edu.mx

Abstract

The COVID-19 pandemic forced students to take their classes online. Although it is true that it helped reduce the contagion levels of this disease, it caused serious damage to the education and emotional state of millions of students, not only in Mexico, but throughout the world. This article presents the results obtained from a study conducted on students just entering high school. The purpose of this work was mainly to analyze the conditions in which the students took their online classes, the impacts on their emotional state, as well as on the family economy. The qualitative perception of the students about their levels of learning acquired in both stages: online and face-to-face, was also analyzed. The results of this study will serve teachers and educational authorities to establish strategies to reduce the impacts of confinement, not only in terms of educational lag, but also in the emotional part of young people.

Keywords— COVID-19, High School, On-line classes

Resumen

La pandemia del COVID-19 obligó a los estudiantes a tomar sus clases en línea. Si bien es cierto que ayudó a reducir los niveles de contagio de esta enfermedad, por otro lado, causó graves estragos en la educación y en el estado emocional de millones de estudiantes, no solo en México, sino en todo el mundo. En este artículo se presentan los resultados obtenidos de un estudio realizado a estudiantes de recién

ingreso a la educación media superior. El propósito de este trabajo fue principalmente analizar las condiciones en las cuales los estudiantes tomaron sus clases en línea, los impactos en su estado emocional, así como en la economía familiar. Se analizó también la percepción cualitativa de los estudiantes sobre sus niveles de aprendizaje adquiridos en ambas etapas: en línea y presencial. Los resultados de este estudio servirán a los docentes y a las autoridades educativas para establecer estrategias que permitan reducir los impactos que dejó el confinamiento, no solo en cuanto al rezago educativo, sino también en la parte emocional de los jóvenes.

Palabras clave— COVID-19, Educación media superior (EMS), Clases en línea

I. Introducción

De acuerdo con la Organización Mundial de la salud (OMS) entre el 12 y el 29 de diciembre del 2019 surgieron los primeros casos del COVID-19 en la ciudad de Wuhan, China. El 30 de enero del 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara al coronavirus como una emergencia internacional de salud pública [1].

De acuerdo con la Secretaría de Salud, el primer caso de COVID-19 en México se detectó el 28 de febrero del 2020, el 20 de marzo del mismo año se cancelan las clases presenciales y se establece la educación en línea (virtual) en todos los niveles como una medida para continuar la educación durante la pandemia [2]. Durante esta etapa el sector educativo se enfrentó a algo que jamás habían vivido, la enseñanza 100 % en línea!

*Autor de correspondencia

La educación virtual, entendida como un proceso educativo a distancia basado en un sistema de comunicación mediante computadoras [3], representó un gran reto para todos los participantes de dicho proceso. Los profesores tuvieron que dejar el método tradicional de enseñanza para introducirse a un mundo digital para el cual se requerían una serie de equipos, habilidades y conocimientos de los cuales la mayoría del profesorado eran carentes en forma total o parcial [4].

Dejar el aula física para introducirse a un espacio simbólico (aula virtual) en la que los participantes del proceso de enseñanza y aprendizaje interactuaban a distancia [3], sin poder observar el impacto que sus explicaciones tenían en el alumnado, fue algo muy complicado para los profesores llegando inclusive a generar situaciones de tecnoestrés, lo cual es una enfermedad de adaptación causada por la falta de habilidad en el uso de la tecnología, así como en las limitaciones de las condiciones requeridas tanto en equipamiento como en capacitación [5].

Para los alumnos la situación no fue muy distinta, ya que de igual manera cambiaron su postura tradicional para convertirse en parte activa, es decir, el alumno tuvo que crear su propio conocimiento; se tuvo que convertir en un ser autónomo que debía ser capaz de administrar su tiempo en una forma más adecuada y responsabilizarse de la adquisición del conocimiento [6, 7].

Los problemas más comunes a los que se enfrentaron los alumnos (y algunos profesores) fueron los siguientes:

- Carencia de dispositivos para acceder a Internet.
- Carencia de acceso o baja calidad del Internet.
- Problemas económicos para adquirir ya sea dispositivos o contratar servicios de Internet, ya sea fijo o mediante paquete de datos.
- Necesidad de trabajar debido a problemas económicos por la pérdida de empleo de algún padre, tutor o familiar o en el peor de los casos por el fallecimiento de los mismos.

De acuerdo con datos del INEGI [8], el COVID-19 fue la primera causa de que los estudiantes de 3 a 29 años no concluyeran sus estudios (Fig. 1).

Del total de estudiantes de entre 3 y 29 años inscritos en el ciclo escolar 2019-2020, 1.8 millones no se inscribieron al siguiente ciclo escolar 2020-2021 debido al COVID-19 [8], como se observa en la Fig. 2.

En el caso de la Unidad Académica Preparatoria de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAP-UAZ) en el ciclo escolar 2021-2022 se experimentó un descenso adicional al 7% de la matrícula con respecto al ciclo anterior [9].

Aún y cuando por el momento no se han publicado mediciones oficiales sobre el rezago académico que pudo haber provocado el confinamiento y las clases en línea,

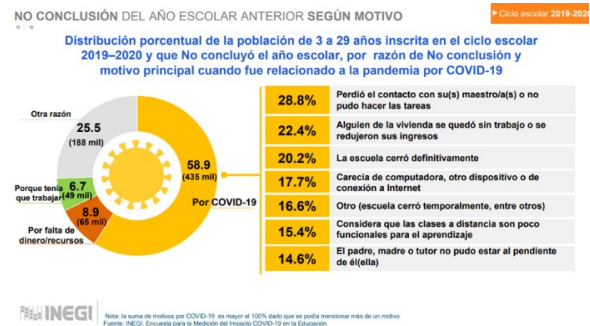


Figura 1: No conclusión del año escolar 2019-2020 según motivo

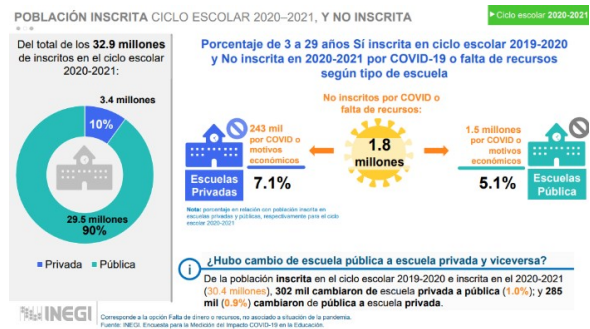


Figura 2: Alumnos no inscritos en el siguiente ciclo escolar (2020-2021) por COVID-19

debido al confinamiento, el Instituto Mexicano para la competitividad (IMCO) considera que el confinamiento dejará un rezago de casi dos años [10], especialmente en lectoescritura y matemáticas [11].

Por su parte, la UNESCO en su informe: “Dos años después, Salvando a una generación” [12] presenta una simulación de los puntajes para lectura y matemáticas para alumnos de 3º y 6º grado de primaria de América Latina y el Caribe. En estas gráficas se pronostica una disminución promedio de 45 puntos (aproximadamente una disminución del 6.3%) en las habilidades de lectoescritura y matemáticas. En las figuras 3 y 4 se muestran los estudios y la simulación para el año 2022 del Tercer Estudio Regional Comparativo y Explicativo (TERCE 2013) y del Estudio Regional Comparativo y Explicativo (ERCE 2019).

Con base en lo descrito anteriormente, se observa la necesidad de realizar un análisis regional de la situación de los estudiantes de recién ingreso a la Educación Media Superior (EMS). Para tal efecto se realizó un estudio sobre la percepción de las clases en línea versus las clases presenciales para determinar la situación del estudiante en ambos ámbitos desde un punto de vista cualitativo. Los resultados de dicho estudio se presentan en este documento.

El resto del trabajo se divide tres partes. En la sección II se describe la metodología desarrollada. En la sección

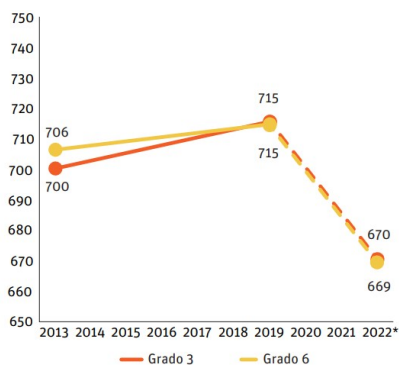


Figura 3: TERCE 2013, ERCE 2019 y puntajes simulados en lectura 2022

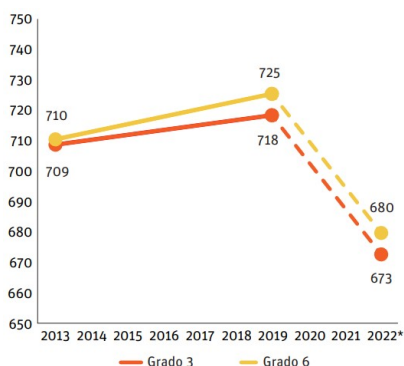


Figura 4: TERCE 2014, ERCE 2019 y puntajes simulados en matemáticas 2022

III se presentan los resultados obtenidos, así como un análisis de los mismos. Finalmente, en la sección IV se presentan las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

II. Metodología

Para recabar información de los estudiantes se utilizó un cuestionario, el cual es una herramienta considerada como clásica y económica. “Su versatilidad permite que sea utilizado como un instrumento de investigación y de evaluación de personas, procesos y programas” [13]. Para realizar el cuestionario se utilizó la herramienta Formularios de Google, la cual permite que sea contestado desde cualquier dispositivo con acceso a Internet.

Los sujetos de estudio fueron los estudiantes del turno vespertino del plantel 4 de la UAP-UAZ. Esta población objetivo está formada por alrededor de 200 jóvenes de entre 14 y 16 años egresados de las escuelas secundarias de las ciudades de Zacatecas y Guadalupe, ambas pertenecientes al estado de Zacatecas.

Con la finalidad de obtener el mayor número de muestras y lograr una mejor confiabilidad se distribuyó el formulario de Google a toda la población objetivo. Debido

al carácter opcional del estudio y tomando en cuenta que algunos alumnos no lo contestarían, se optó por realizar un muestreo no probabilístico. Del total de 200 estudiantes se tomaron 88 muestras, lo cual representa el 44 % de la población objetivo.

El formulario se dividió en tres secciones: en la primera sección se analizaban los datos generales del estudiante, así como las condiciones en las cuales tomó sus clases en línea, así como el impacto en la economía familiar y su estado emocional en dicha etapa; en la segunda sección se analizó como fue el proceso de aprendizaje durante la enseñanza en línea y en la tercera sección se analizó como fue el retorno a las clases presenciales.

III. Resultados

III.1. Condiciones para las clases en línea

De los encuestados, el 46.6 % eran del sexo femenino, 51.1 % sexo masculino, el 2.3 % decidió no contestar esta pregunta. En cuanto al tipo de conexión usada para las clases en línea el 94.4 % utilizó internet fijo y solo el 5.7 % declaró haber usado datos móviles de celular para su conexión a Internet (Fig. 5). De estos, el 88.8 % ya contaba con servicio de Internet y solo el 19.3 % tuvo que contratar Internet, lo cual muestra un buen nivel de conectividad muy encima de la media nacional reportada por el INEGI para el año 2019 que fue del 70.1 % [8].

Tipo de internet que se usó para las clases en línea.

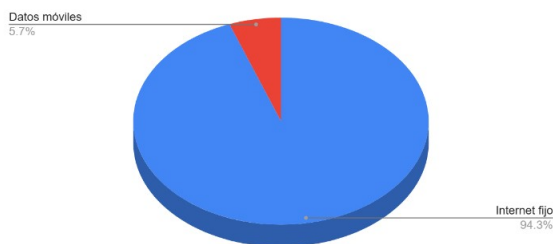


Figura 5: Tipo de Internet usado para las clases en línea

El 60.2 % de los alumnos se conectaban a clases en línea mediante un teléfono celular lo cual limitaba la visualización de lo presentado por los profesores. El 14.8 % se conectaba mediante una computadora de escritorio y el 21.6 % se conectaba utilizando una computadora portátil (Fig. 6). Por otro lado, el 33 % declaró haberse visto en la necesidad de adquirir alguno de los dispositivos utilizados.

En cuanto al impacto en la economía familiar, solo el 12.5 % consideró que no afectó la adquisición de un dispositivo o contratación de Internet, por otro lado, el 18.2 %

Tipo de dispositivo que principalmente se usó para las clases en línea.

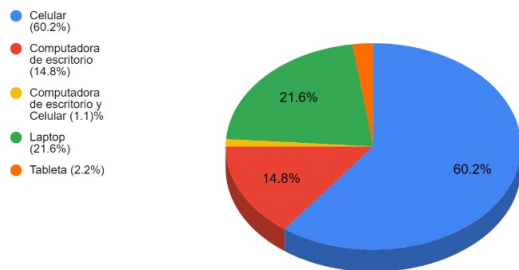


Figura 6: Dispositivo utilizado para las clases en línea

considera que la economía familiar fue muy afectada (Fig. 7).

¿Qué tanto considera que impactó en la economía de su familia la adquisición de un dispositivo o contratación de internet para sus clases en línea?

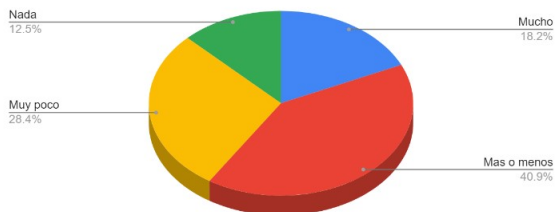


Figura 7: Impacto en la economía familiar

En cuanto al estado emocional durante el confinamiento, el 56.8 % declaró haber sentido algún estado de ánimo negativo o una combinación de estados negativos (Fig. 8).

¿Cómo se sintió durante el confinamiento?

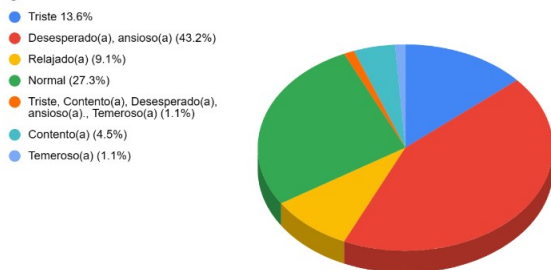


Figura 8: Estado anímico durante el confinamiento

III.2. Proceso de aprendizaje para las clases en línea

Durante las sesiones en línea, el 28.3% de los encuestados declaró haber realizado al mismo tiempo otras

actividades tales como jugar videojuegos, navegar en Internet, chatear en redes sociales o alguna combinación de ellas. El 5.7% declaró haber trabajado al mismo tiempo y el 64.8% declaró solo haber atendido a sus sesiones en línea (Fig.9). Estas respuestas están directamente ligadas al nivel de aprendizaje.

¿Que otra actividad realizaba durante sus clases en línea?

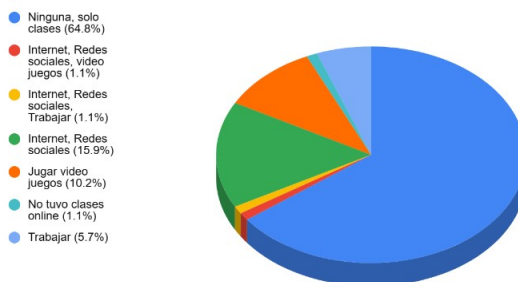


Figura 9: Actividades realizadas durante las sesiones en línea

Al evaluar las clases en línea, el 55.7% de los encuestados dan una valoración negativa de ellas al considerarlas tediosas, complicadas, aburridas o una combinación de ello. La distribución de esta valoración se muestra en la Fig. 10.

¿Cómo considera que fueron sus clases en línea?

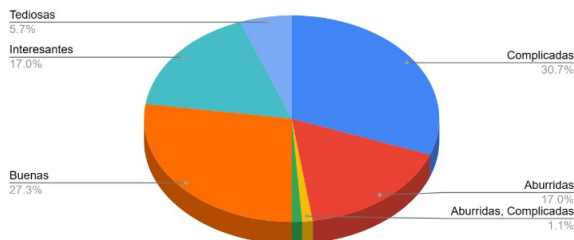


Figura 10: Valoración de las clases en línea

En la resolución de dudas durante las clases en línea (elemento vital para generar el conocimiento), el 12.5% manifestó no haber tenido oportunidad para ello, el 38.6% manifestó haber tenido muy poca oportunidad y el 18.2% manifestó haber tenido siempre la oportunidad de externar sus dudas. La distribución total se muestra en la Fig. 11.

En cuanto a la percepción de los encuestados del aprendizaje real adquirido durante las clases en línea, el 47.7% manifestó haber obtenido un aprendizaje de aproximadamente el 50% de los conocimientos proporcionados, el 25% manifestó haber aprendido muy poco (menos del 25% de los conocimientos) y el 21.6% manifestó haber aprendido lo suficiente (alrededor del 75% de los

Durante sus clases en línea, ¿tenía oportunidad de externar sus dudas?

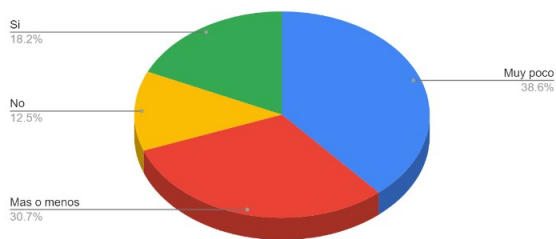


Figura 11: Atención a dudas durante las clases en línea

conocimientos). Esta distribución se muestra en la Fig. 12. Es importante mencionar que esta es una percepción cualitativa de los encuestados.

¿Cuál considera que fue su nivel real de aprendizaje durante sus clases en línea?

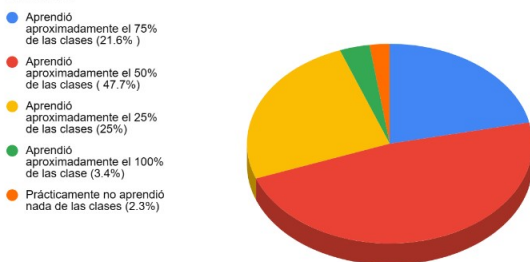


Figura 12: Percepción del nivel real de aprendizaje durante las clases en línea por parte de los encuestados

En cuanto a la preparación de los docentes para la enseñanza en línea, 14.8% de los encuestados manifestó que estaban muy bien preparados, el 50% que estaban medianamente preparados, el 22.7% que estaban muy poco preparados y el 12.5% que no estaban preparados; esta distribución se muestra en la Fig. 13.

¿Considera que sus profesores estaban preparados para la enseñanza en línea?

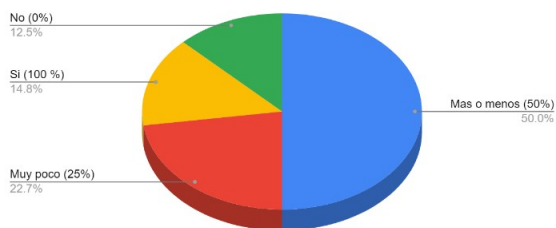


Figura 13: Percepción de la preparación para la enseñanza en línea de los profesores

Si bien es cierto, esta es la percepción del alumno, los docentes y los responsables de su formación deben tomar muy en cuenta estos resultados a fin de crear políticas y planes de educación continua para aumentar las habilidades en el uso de las tecnologías de la información y la computación.

III.3. El retorno a las clases presenciales

En marzo del 2022, una vez que el estado de Zacatecas había permanecido por varias semanas en semáforo de riesgo epidemiológico verde, las autoridades educativas autorizaron el retorno a las clases presenciales. Finalmente, después de dos años de confinamiento los estudiantes regresaban a las aulas. En el caso de los estudiantes que ingresaban a la preparatoria, el reto era muy grande debido a que había pasado casi dos terceras partes de su educación secundaria en línea, por lo que se encontraban ansiosos y desesperados por convivir con otros jóvenes de su misma edad.

Con la finalidad de medir el sentimiento que les generaba el regreso a las aulas físicas, dentro del cuestionario se les hicieron un par de preguntas al respecto.

Al preguntarles cómo se sintieron con su regreso a clases presenciales, el 60.2% expresó sentirse contentos, el 20.5% expresó sentirse normal, el 12.5% expresó sentirse temeroso o angustiado, el 2.3% expresó haberse sentido o angustiado y el 1.1% expresó haber sentido una combinación de emociones, tal distribución es mostrada en la Fig. 14.

¿Cómo se sintió durante el regreso a clases presenciales?

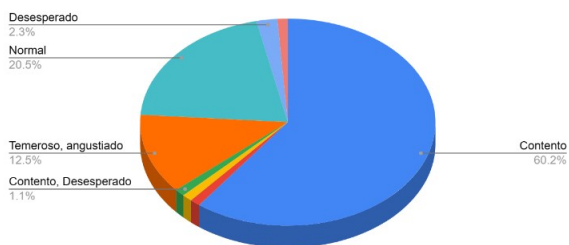


Figura 14: Como se sintieron los alumnos en su regreso a las clases presenciales

Al preguntarles cómo se les hicieron las clases presenciales, el 89.8% expresó que eran mejor que las clases en línea, y solo el 10.2% las consideró iguales (Fig. 15).

Al preguntarles cual era la percepción de su aprendizaje real durante las clases presenciales el 14.8% expresó que aprendió casi todo, el 53.4% expresó que aprendió lo suficiente (alrededor del 75% de lo enseñado), el 25% expresó que había aprendido algo (alrededor del 50% de lo enseñado) y el 6.8% expresó que había aprendi-



Figura 15: Comparativo de las clases en línea versus presenciales desde la percepción de los encuestados

do muy poco (alrededor del 25% de lo enseñado), esta distribución se muestra en la Fig. 16.

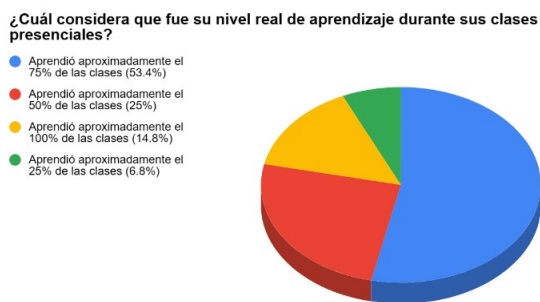


Figura 16: Percepción del nivel real de aprendizaje durante las clases presenciales por parte de los encuestados

Al preguntarles en forma directa si consideraban que su nivel de aprendizaje había mejorado o empeorado durante las clases presenciales, el resultado reafirma lo expresado en el punto anterior, el 78.4% manifestaron que su aprendizaje había mejorado, y solo el 5.7% expresó que este había empeorado (Fig. 17).

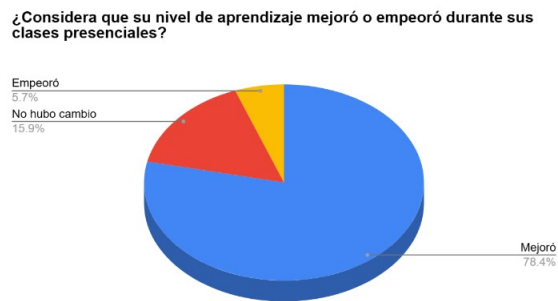


Figura 17: Percepción del aprendizaje durante las clases presenciales

Estos resultados son muy importantes porque a pesar de ser cualitativos (no fueron medidos), reflejan que el estudiante se siente más confiado con lo aprendido durante su regreso a clases. Por ejemplo, el 53.4% manifestó haber aprendido lo suficiente en clases presenciales (Fig. 16) con respecto a un 21.6% que manifestaron lo mismo en sus clases en línea (Fig. 12).

IV. Conclusiones

La pandemia por el COVID19 causó la pérdida de miles de vidas humanas además de las secuelas de la enfermedad en otras tantas, y por si esto no fuera suficiente, causó estragos no solo en los procesos productivos, pérdida de empleos, etc. sino también en la educación de todos los niveles, dejando un rezago estimado por algunos de casi dos años [10, 11].

En cuanto a los estudiantes, se deben atender no solo los rezagos educativos, sino también es muy importante atender la parte emocional de los educandos.

Este estudio es muy importante porque permitió identificar la forma en como los estudiantes de nivel medio superior vivieron su educación a distancia y es muy notable la diferencia con respecto a la educación llevada a cabo en forma presencial.

En el campo emocional, 57.9% manifestaron haber sentido un estado emocional negativo durante su confinamiento y de ellos el 40.9% manifestó haberse sentido desesperado (Fig. 8), esto sin duda dejará algún tipo de secuelas que deberán ser atendidas por especialistas del área.

En cuanto a las clases en línea, solo el 44.3% de los encuestados consideran que las clases en línea fueron buenas o interesantes (Fig. 10), el resto considera que fueron difíciles, aburridas o tediosas. Esto puede estar relacionado con dos situaciones: la primera es que el 35.2% de los estudiantes manifestaron haber realizado otro tipo de actividades durante sus sesiones en línea (Fig. 9), entre estas mayormente fue la interacción en redes sociales, navegar en Internet o jugar videojuegos, esto obviamente repercute en la calidad del aprendizaje adquirido; la segunda es la preparación del profesor para el uso de las tecnologías.

Si bien es cierto se hizo un gran esfuerzo por parte de los profesores en la adquisición de habilidades en el uso de los dispositivos y de las plataformas digitales para la enseñanza virtual, aún quedó mucho por hacer porque el 35.2% de los encuestados manifestaron haber percibido que los profesores contaban con muy poca o nula capacidad para la enseñanza virtual. Esto debe servir como un incentivo para los profesores y para que las autoridades educativas consideren dentro de sus planes de formación docente la inclusión de proyectos de capacitación en estas áreas.

En cuanto al aprendizaje durante y después del confinamiento las diferencias son también muy notorias. La percepción del aprendizaje real mejoró al reiniciarse las clases presenciales. Por ejemplo, el 53.4% de los encuestados manifestaron haber adquirido un 75% de lo enseñado en forma presencial (Fig. 16), contra un 21.6% que manifestaron haber adquirido ese mismo nivel de conocimiento durante sus clases en línea (Fig. 12). Así mismo, el 78.4% de los encuestados manifestó que su aprendizaje había mejorado en su regreso a clases presenciales (Fig. 17).

Las percepciones anteriores son cualitativas en base a lo que los estudiantes consideran, sin embargo, deberá ser confirmado en forma cuantitativa a fin de establecer las políticas adecuadas que permitan la recuperación de los niveles de conocimiento adecuados para cada una de las etapas. Y por supuesto para la creación de planes de atención emocional que permitan superar los estragos de la pandemia. Y por otro lado, establecer políticas que permitan hacer frente a situaciones futuras como la vivida durante la pandemia del COVID-19.

Como trabajos futuros, se propone que este estudio se expanda todos los niveles educativos del estado y se contraste con los resultados de un análisis cuantitativo a fin de determinar el impacto real de la pandemia en los estudiantes del estado de Zacatecas.

Referencias

- [1] CNN Español. *Cronología del coronavirus: así comenzó y se extendió el virus que tiene en alerta al mundo*. CNN, feb. de 2020. URL: <https://cnnespanol.cnn.com/2020/02/20/cronologia-del-coronavirus-asi-comenzo-y-se-extendio-el-virus-que-pone-en-alerta-al-mundo/> (visitado 02-08-2022).
- [2] El Universal. *Por coronavirus, SEP suspende clases a partir del 20 de marzo; adelanta vacaciones*. El Universal, mar. de 2020. URL: <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/coronavirus-sep-suspende-clases-partir-del-20-de-marzo-adelanta-vacaciones> (visitado 02-08-2022).
- [3] Dayana Alejandra Barrera y Nidia Danigza Lugo-López. «Las aulas virtuales en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Estadística». En: *Revista científica* 2 (mayo de 2019), págs. 183-191. DOI: 10.14483/23448350.14368. URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/cient/n35/2344-8350-cient-35-00183.pdf> (visitado 02-08-2022).
- [4] Enrique Bigné et al. «VIRTUAL CLASSROOM: TEACHER SKILLS TO PROMOTE STUDENT ENGAGEMENT». En: *Journal of Management and Business Education* 1 (ago. de 2018), págs. 87-105. DOI: 10.35564/jmbe.2018.0008. (Visitado 02-08-2022).
- [5] Lucía Domínguez-Torres et al. «Tecnoestrés en docentes de educación media superior en el contexto de confinamiento por COVID-19: Un estudio exploratorio.» En: *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores* (oct. de 2021). DOI: 10.46377/dilemas.v9i.2950. (Visitado 02-08-2022).
- [6] Yan Sufeng y Song Runjuan. «Virtual Classroom and Traditional Classroom». En: (2013). URL: <https://www.atlantis-press.com/article/7011.pdf> (visitado 02-08-2022).
- [7] Carmen Natacha Pérez Cardoso, Rogelio Pedro Suárez Mella y Nancy Azucena Rosillo Suárez. «La educación virtual interactiva, el paradigma del futuro». En: *Atenas* 4 (2018), págs. 144-157. URL: <https://www.redalyc.org/journal/4780/478055154009/movil/> (visitado 02-08-2022).
- [8] INEGI. *Encuesta para la Medición del Impacto COVID-19 en la Educación (ECOVID-ED)*. INEGI. URL: https://www.inegi.org.mx/contenidos/investigacion/ecovided/2020/doc/ecovid_ed_2020_presentacion_resultados.pdf (visitado 02-08-2022).
- [9] UAP-UAZ. *Compendio de Indicadores Académicos del Nivel Medio Superior Universitario 2021-2022 Contexto Nacional, Estatal e Institucional, 2021-2022*.
- [10] IMCO. *El rezago educativo pone en riesgo a una generación de estudiantes*. Jun. de 2021. URL: <https://imco.org.mx/el-rezago-educativo-pone-en-riesgo-a-una-generacion-de-estudiantes/> (visitado 02-08-2022).
- [11] Publímtero. *Ciclo escolar está marcado por el rezago educativo, deserción escolar y con un sombrío futuro*. Publímtero México, mar. de 2022. URL: <https://www.publimetro.com.mx/nacional/2022/03/29/ciclo-escolar-esta-marcado-por-el-rezago-educativo-desercion-escolar-y-con-un-sombrio-futuro/> (visitado 02-08-2022).
- [12] UNICEF. *Dos años después salvando a una generación*. 2022. URL: <https://www.unicef.org/lac/media/35631/file/Dos-anos-despues-salvando-a-una-generacion.pdf> (visitado 02-08-2022).

- [13] García Muñoz Tomás. «EL CUESTIONARIO COMO INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN/EVALUACIÓN». En: (mar. de 2003). URL: http://www.univsantana.com/sociologia/El_Cuestionario.pdf (visitado 02-08-2022).

Design and construction of a machine extrusion to obtain recycled PLA filament

Diseño y construcción de una extrusora para la obtención de filamento PLA reciclado

Agustín Guzmán Cortés^{*1}, Mirna Cuatzo Itzcua¹, and Gabriel Antonio Balderas Flores¹

¹ Universidad Tecnológica de Puebla (UTP), División Sistemas Automotrices, Antiguo Camino a la Resurrección 1002-A, Zona Industrial, Puebla, Pue., México, C.P. 72300. {agustin.guzman, mirna.cuatzo, gabriel.balderas}@utpuebla.edu.mx

Abstract

Pollution is one of the main problems today. For this reason, it is important that technology created could be ecofriendly and sustainable. One of the new technologies that is generating a big impact is 3d printing, which allows parts to be created more efficiently. However, this does not guarantee that there are no defective parts and in this point is important to search new alternatives to minimize scrap. This project proposes the creation of a PLA plastic recycling system using a extrusion machine built with recycled material. This is intended to generate new plastic parts using recycled material, wich could be useful to new purposes, allows minimize the operation costs and help to reduce the contamination.

Keywords— extrusion, PLA, recycled

Resumen

La contaminación es uno de los principales problemas en la actualidad. Por ello es importante que la tecnología creada sea ecológica y sostenible. Una de las nuevas tecnologías que está generando un gran impacto es la impresión 3D, que permite crear piezas de manera más eficiente. Sin embargo, esto no garantiza que no haya piezas defectuosas siendo necesario buscar nuevas alternativas para minimizar el desperdicio de éstas. Este proyecto propone la creación de un sistema de reciclaje de plástico PLA, utilizando una máquina extrusora construida con material reciclado. Con esto se pretende generar

nuevas piezas de plástico a partir de material reciclado, que puedan ser útiles para nuevos propósitos, permitan minimizar los costos de operación y ayuden a reducir la contaminación.

Palabras clave— extrusora, PLA, reciclaje

I. Introducción

En la actualidad, se tiene un gran número de problemas relacionados con los plásticos, desde su proceso de producción hasta su vida útil y manejo como desecho.

De acuerdo con lo reportado por Balla et al. [1] se ha estimado que hasta el año 2021, la producción total de polímeros a nivel mundial había alcanzado un valor aproximado de 9,000 t, de los cuales solo del 9 al 10 % fueron reciclados y utilizados, mientras que un 12 % fue incinerado, dejando a cerca de 78 al 79 % contaminando a ríos, lagos, océanos y vertederos.

Lo anterior ha ocasionado que los investigadores se vean obligados a implementar sistemas de reciclaje más eficientes y/o buscar otros materiales plásticos que sean más amigables con el medio ambiente.

Dentro de los materiales más prometedores que existen actualmente se encuentra el ácido poliláctico (PLA) debido a que es un biopolímero que puede ser producido a gran escala sin perder sus propiedades como material biodegradable y biocompatible. El PLA es un poliéster alifático de base biológica derivado del ácido láctico (ácido 2-hidroxi-propanoico) que puede ser obtenido a partir de fuentes animales y vegetales como: celulosa, almidón, maíz, desperdicio de pescado y desperdicio de cocinas.

El PLA fue sintetizado por primera vez en 1932 acorde con Balla et al. [1] y ha mostrado excelentes propiedades dentro de las que destacan su resistencia mecánica,

* Autor de correspondencia

biocompatibilidad, biodegradabilidad y principalmente su alta compostabilidad, permitiendo que éste sea una opción más viable que los polímeros basados en el petróleo.

Éste ha encontrado aplicación en áreas como son: empaque, automotriz, agricultura y biomédicas. Además, en conjunto con la impresión en 3D ha sido capaz de crear casas, autos, cubrebocas, armazones de lentes, juguetes, reconstrucción de piezas de museo, aparatos de ortodoncia e incluso órganos biocompatibles para uso humano.

Actualmente, la impresión en 3D ha tomado un gran impulso para la producción de piezas con características específicas y de acuerdo con lo reportado por Caihan Zhu et al. [2], consume un valor aproximado de 18,500 t de plásticos, de los cuales, se sugiere que 5,000 t podrían ser residuos de impresión.

En esta área los plásticos que pueden ser extruidos principalmente incluye el ABS, PLA, PA y PC, que poseen un buen desempeño de procesamiento y que son capaces de generar una amplia variedad de productos. Sin embargo, el material de mayor interés sigue siendo el PLA, debido a sus propiedades y a que puede ser fácilmente manipulado y reciclado.

Los estudios revelan que si el PLA es reciclado de manera adecuada la disminución de sus propiedades es mínima. De acuerdo a Delgado Ayala [3], el PLA reciclado con mejores propiedades es aquel obtenido con base en filamentos cuyo diámetro se mantiene constante y cercano a los 1.75 mm, debido a que la extrusora mantiene una alimentación constante.

Además, sugiere que en esta la velocidad de alimentación sea controlada, con lo que se espera se ayude a homogeneizar el producto de salida. Como se puede observar, estos dos parámetros sólo contemplan variables de entrada que deben ser controladas para mejorar la calidad del producto final y que se verán reflejados en una menor disminución en la resistencia a la tensión, resistencia al impacto y resistencia a la flexión y que podrían, de acuerdo con Beltrán et al. [4] ser más sostenible que el PLA virgen.

Para poder llevar a cabo el reciclaje del PLA es necesario que en la máquina de extrusión el polímero se funda con una temperatura controlada. En esta máquina es deseable que la materia prima se encuentre triturada con un tamaño homogéneo, debido a que dicho material se hará pasar a través de un embudo, el cual abastecerá de materia prima a un cilindro caliente que contiene en su interior un husillo que empujará al material a lo largo del cilindro para obtener de esta manera un filamento constante [5] como se observa en la Figura 1.

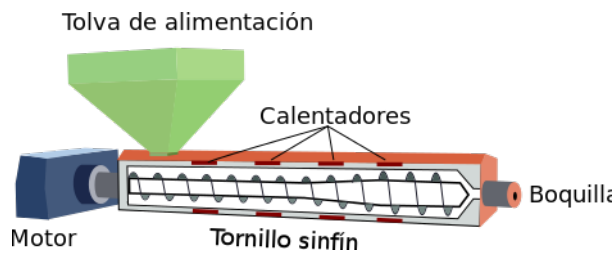


Figura 1: Esquema general de una extrusora [6]

II. Materiales y métodos

II.1. Diseño

La Extrusora Plástica se diseñó en el Software CAD SolidWorks por su amplia versatilidad en los diseños y aplicaciones industriales (ver Figura 2).

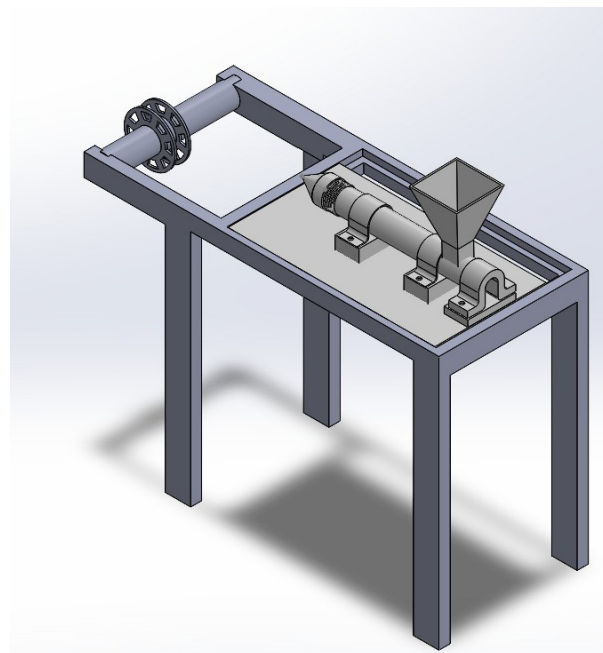


Figura 2: Diseño CAD de la Extrusora Plástica

Estos fueron con base en su facilidad de adquisición y bajo costo. Los materiales elegidos fueron: madera, perfiles metálicos, PVC, CPVC, alambres, tornillos, tuercas, una fuente de poder de PC, resistencias eléctricas de parrilla, protoboard, cables, ventiladores, sensores LM35, reguladores de voltaje y un Arduino UNO.

II.2. Fabricación de prototipo

Sobre una estructura metálica de $86 \times 80 \times 47$ cm está colocada una base de madera en donde están montados el tornillo sin fin, la tolva, la fuente de poder y los sensores, así como un compartimento especial para el protoboard y la tarjeta Arduino (ver Figura 3 y Figura 4).

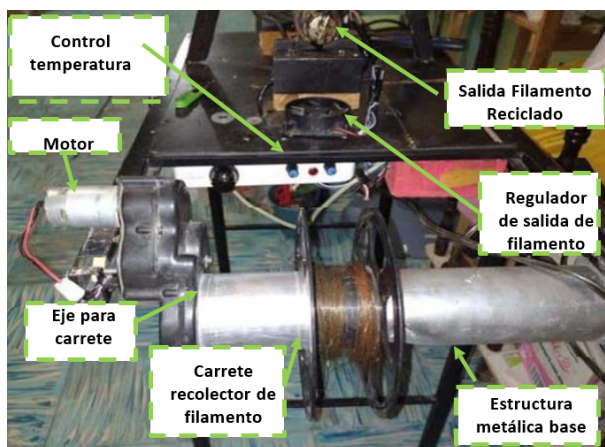


Figura 3: Extrusora plástica construida con materiales reciclados



Figura 4: Compartimento de la extrusora para salvaguardar los componentes electrónicos

Después de utilizar varias veces el prototipo, se decidió construir un sistema de extracción de gases, el cual se colocó por encima de la tolva. Dicho sistema de extracción con una medida vertical de 1 m está constituido por un tubo de PVC de 4", un ventilador de 12 Volts para generar el flujo de extracción y una base de soporte (ver Figura 5).

II.3. Proceso de extrusión plástica

Este proceso inicia con la recolección de piezas impresas en PLA o residuos de impresiones (Material Base de



Figura 5: Sistema de Extracción de Gases de la extrusora plástica

Impresión), los cuales se recolectan y clasifican según su tamaño y forma, para posteriormente proceder con el triturado y obtener un pellet o lenteja de tamaño pequeño, aproximadamente de 1 cm² (ver Figura 6).



Figura 6: PLA triturado previo a la extrusión para su reciclaje

Una vez que se tiene la materia prima con tamaño homogéneo se puede proceder con el precalentamiento de la extrusora. En la Figura 7 y Figura 8 se puede apreciar la etapa de precalentamiento, la cual se realiza mediante la utilización de dos resistencias eléctricas de parrilla con la finalidad de garantizar una temperatura homogénea. Posterior al calentamiento, se puede comenzar con el proceso de extrusión, el cual consiste en colocar dentro de la tolva desde la parte superior la materia prima para



Figura 7: Panel del controlador de temperatura para el proceso de extrusión

que en la parte inferior con ayuda del tornillo sin fin el material pueda avanzar por el tubo de extrusión y se pueda obtener el filamento deseado.



Figura 8: Resistencias utilizadas para el calentamiento de la extrusora plástica

II.4. Etapa de control

Esta etapa se enfoca en el control de la temperatura debido a que es la variable más importante por controlar y que va a garantizar que el filamento obtenido tenga las características necesarias como: grosor, estructura y humedad. Además del control de la temperatura, fue necesario controlar la velocidad de los motores que hacen rotar el tornillo sin fin y la bobina donde se deposita el material extruido, es decir, el PLA reciclado.

Es importante considerar que si los parámetros no son correctos, el PLA se rompía o pegaba al carrete. Finalmente fue necesario colocar una alarma que se activase cuando el carrete alcanzase un peso de 500 g para notificar que era necesario colocar un carrete nuevo.

A continuación, se presenta el código para el funcionamiento de la extrusora (ver Figura 9).

```
#include <LiquidCrystal.h> // importa librería LiquidCrystal
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2); // crea objeto y asigna pines a los cuales se
// encuentran conectados RS, E, D4, D5, D6, D7

int SENSOR; // variable almacena valor leído de entrada analógica A0
int ventilador = 8; // salida digital 8
float TEMPERATURA; // valor de temperatura en grados centígrados
float SUMA; // valor de la suma de las 5 lecturas de temperatura
bool ventilador_activado = false;
int temperatura_limite = 40;

void setup() {
  lcd.begin(16, 2); // inicializada lcd en 16 columnas por 2 filas
  // entradas analógicas no requieren inicialización
  pinMode(ventilador, OUTPUT);
}

void loop() {
  SUMA = 0; // valor inicial de SUMA en cero
  for (int i=0; i<5; i++) { // bucle que repite 5 veces
    SENSOR = analogRead(A0); // lectura de entrada analógica A0
    TEMPERATURA = (SENSOR * 5000.0) / 1023 / 10; // lectura de entrada analógica A0
    // de entrada A0 en grados centígrados
    SUMA = TEMPERATURA + SUMA; // suma de cada lectura de temperatura
    delay(500); // demora de medio seg. entre lecturas
  }
  lcd.setCursor(0, 0); // cursor en primer fila y primer columna
  lcd.print("Temp: "); // escribe Temp:
  lcd.print(SUMA/5.0, 1); // escribe valor promedio de 5 lecturas con
  // un decimal
  lcd.print(" C"); // imprime C
}
```

Figura 9: Código parcial de funcionamiento de la extrusora plástica

III. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del PLA reciclado con la extrusora propuesta.

Como resultado de generar filamento de diversas calidades, se dividió este trabajo en dos etapas iniciales, pudiéndose distinguir una primera fase sin el sistema de extracción de gases acoplado y una segunda fase con dicho sistema implementado.

Primera fase: En esta etapa del proceso solo se pretendía la molienda de la materia prima en un pellet de tamaño uniforme, el acoplamiento de un sistema de calentamiento que permitiera al usuario modificar la temperatura desde los 125 °C hasta los 260 °C, con un control óptimo de temperatura ya que es una variable crucial en la fundición de materiales plásticos y que, en algunos casos, si es demasiado alta el material perderá porcentajes de algunas propiedades mecánicas dejando estos materiales inservibles para su uso en la impresión 3D (ver Figura 10).

Hablando de materiales como el PLA, el rango de temperatura de obtención y fundición se encuentra entre los 190 – 220°C [7, 8]. Sin embargo, con la finalidad de no limitar la extrusora a trabajar únicamente este material se amplió el rango de operación hasta los 260 °C [9, 10, 11], temperatura a la que el filamento de ABS podría formarse, para de esta manera ampliar la gama de materiales con los que pueda trabajar.

Hablando exclusivamente de la extrusión de PLA (ver Figura 11), los resultados visibles obtenidos en la primera fase fueron filamentos cortos y con defectos en cuanto a diámetro continuo, esto atribuible a una dificultad en la colección del material debido a que de la extrusora salía

PARÁMETROS DE IMPRESIÓN				
RoHS Compliant	Temperatura de impresión	Temperatura de plataforma	Velocidad de impresión	Tolerancia
PLA	190-220°C	Innecesario	40-100mm/s	0.02mm
ABS	220-240°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
HIPS	220-240°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PETG	230-250°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PLA cambio de color	190-210°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PC	234-270°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PA	230-260°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PVA	190-210°C	80-120°C	30-60mm/s	0.03mm
MADERA	190-220°C	Innecesario	30-60mm/s	0.03mm
FLEXIBLE	190-210°C	Innecesario	30-60mm/s	0.03mm

Figura 10: Parámetros de operación en temperatura para filamentos comerciales

material a altas temperaturas y era incapaz de enfriarse únicamente a temperatura ambiente, originando que el filamento se pegase al carrete. Al mismo tiempo, cuando la temperatura se elevó, demasiado lo que se obtuvo fue un material quebradizo y de poca longitud (ver Figura 12).



Figura 11: Muestra de extrusión de PLA reciclado previo a la optimización de la extrusora

Al estar la extrusora construida con material reciclado, uno de los principales inconvenientes que se han tenido es la de los constantes ajustes a la misma. Por ello fue necesario realizar una segunda fase, misma que se describe a continuación.

Segunda fase: la temperatura logró ser controlada y además se realizó la implementación de un sistema de extracción de gases, en donde se obtuvieron filamentos más largos con la capacidad de ser enrollados que no solo demuestran por medio de esta capacidad su resistencia, sino que también reflejan flexibilidad.

El sistema de extracción de gases colocado al final de

la extrusora funge como refrigerante con lo que el fluido viscoso obtenido en la etapa anterior tiene el tiempo y la posibilidad de enfriarse mientras sale de la boquilla del equipo y con la ayuda de un sistema de colección por medio de un carrete automático, el filamento obtenido es visiblemente mejor que el de la primera etapa (ver Figura 13).

Actualmente, la extrusora aun cuenta con variables y piezas que deberán ser optimizadas, dentro de las que destacan y se tienen como prioridad: controlar las condiciones óptimas de velocidad y temperatura para una correcta extrusión del filamento, así como la boquilla extrusora que se pretende intercambiar por una boquilla en forma cónica.

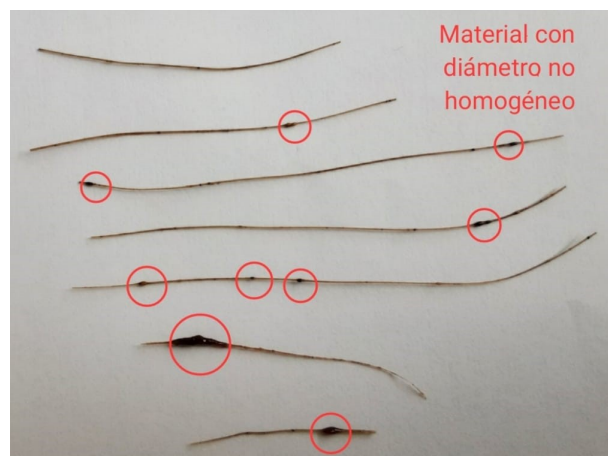


Figura 12: Muestra de PLA reciclado sin el uso de una campana de extracción de gases



Figura 13: Muestra de filamento extruido posterior a la optimización de la extrusora

IV. Conclusiones

Con este proyecto se ha logrado demostrar que el reciclaje de PLA es posible utilizando una maquina extrusora creada también con material reciclado. El proyecto tiene aún más etapas y se prevé que con un mejor análisis de las condiciones de operación del prototipo se puedan obtener en una tercera fase, filamentos de PLA idóneos para su aplicación en la impresión 3D, así como también poder incursionar con otros materiales plásticos.

La extrusora construida requiere de mejoras para optimizar su funcionamiento, tales como sus condiciones de operación, entre las que destacan un mejor control de la temperatura y la velocidad de extrusión, y del mismo modo, también es necesario el cambio de piezas que permitan un mejor desempeño, como lo es la boquilla de extrusión.

Si bien, aun se deben realizar más optimizaciones al proceso para la obtención de filamento reciclado, es un hecho que, una vez que se concluya con esta etapa, será posible reciclar una mayor cantidad de material, no sólo de PLA, sino también de los materiales que se utilizan para la construcción de la extrusora, que es de primordial interés con este proyecto y que marca una diferencia con respecto a las de más extrusoras en el mercado, que no son construidas con material reciclado. Además, se pretende poder escalarlo a nivel industrial y lograr una primera etapa de comercialización.

Referencias

- [1] Evangelia Balla et al. «Poly (lactic Acid): A versatile biobased polymer for the future with multifunctional properties—From monomer synthesis, polymerization techniques and molecular weight increase to PLA applications». En: *Polymers* 13.11 (2021), pág. 1822.
- [2] Caihan Zhu et al. «Realization of circular economy of 3D printed plastics: A review». En: *Polymers* 13.5 (2021), pág. 744.
- [3] Fernando Delgado Ayala et al. «Caracterización de filamento de PLA reciclado para impresión 3D». En: *Repositorio institucional de la Universidad de La Laguna* (2021), págs. 78-79.
- [4] Freddys R Beltrán et al. «Evaluation of the technical viability of distributed mechanical recycling of PLA 3D printing wastes». En: *Polymers* 13.8 (2021), pág. 1247.
- [5] *Noticias y artículos de del sector Plástico*. www.interempresas.net. URL: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/2600>.
- [6] *Archivo:Extrusora.svg - Wikipedia, la enciclopedia libre*. commons.wikimedia.org, feb. de 2014. URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Extrusora.svg#> (visitado 29-05-2023).
- [7] Gurcan Atakok, Menderes Kam y Hanife Bukre Koc. «Tensile, three-point bending and impact strength of 3D printed parts using PLA and recycled PLA filaments: A statistical investigation». En: *Journal of Materials Research and Technology* 18 (2022), págs. 1542-1554.
- [8] Vidhya Nagarajan, Amar K Mohanty y Manjusri Misra. «Perspective on polylactic acid (PLA) based sustainable materials for durable applications: Focus on toughness and heat resistance». En: *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 4.6 (2016), págs. 2899-2916.
- [9] K Jim Jem y Bowen Tan. «The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid)». En: *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 3.2 (2020), págs. 60-70.
- [10] *poliláctico (PLA)*. URL: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/acidopolilactico#:~:text=La%20temperatura%20de%20procesamiento%5C%20>.
- [11] Heriberto Julio Mejía Flores. «Ventajas y desventajas de las impresoras 3D». En: *Revista Tecnológica* 12 (2016), pág. 30.

Harmonic and Interharmonic Detection in Power Quality Applying the Wavelet Synchrosqueezing Transform

Detección de Armónicos e Interarmónicos en la Calidad de Energía Aplicando la Transformada Wavelet Synchrosqueezing

Alberto Gudiño-Ochoa^{*1}, Jaime Jalomo-Cuevas¹, Daniel Sánchez-Jiménez¹, and Raquel Ochoa-Ornelas²

¹ National Technological Institute of Mexico/Ciudad Guzman Institute of Technological, Department of Electricity and Electronics, Av. Tecnológico 100, Carretera al Fresno, Ciudad Guzmán, Jal., México, 49100.

albertogudo@hotmail.com, jaime.jc@cdguzman.tecnm.mx, danielsh8@hotmail.com

² National Technological Institute of Mexico/Ciudad Guzman Institute of Technological, Systems and Computing Department, Av. Tecnológico 100, Carretera al Fresno, Ciudad Guzmán, Jal., México, 49100.

raquel.oo@cdguzman.tecnm.mx

Abstract

Power quality has become an increasing problem as harmonic frequencies begin to appear in renewable energy sources and non-linear systems connected to the electrical grid. Interharmonics are frequencies that are not multiples of the fundamental frequency and make harmonic analysis more complicated. This is a challenge for companies and users to improve power quality, so this article proposes the use of the Wavelet Synchrosqueezing Transform (SSWT) method in time-frequency analysis. SSWT proves to have better anti-noise properties and high resolution compared to other methods, such as Continuous Wavelet Transform (CWT) and Short Time Fourier Transform (STFT). The method is validated on simulations and data collected from renewable energy sources, as well as real-time measurements caused by the flicker effect. The results demonstrate the effectiveness of the method in the analysis of signals that present variations in time and frequency.

Keywords— Harmonics, Renewables Sources, Power Quality

Resumen

La calidad de la energía se ha convertido en un problema cada vez mayor a medida que comienzan a aparecer frecuencias armónicas en fuentes de energías renovables y sistemas no lineales conectados a la red eléctrica. Los interarmónicos son frecuencias que no son múltiplos de la frecuencia fundamental y hacen que el análisis armónico sea más complicado. Este es un desafío para las empresas y los usuarios para mejorar la calidad de la energía, por lo que este artículo propone el uso del método Wavelet Synchrosqueezing Transform (SSWT) en el análisis de tiempo-frecuencia. La SSWT demuestra tener mejores propiedades antirruido y alta resolución en comparación con otros métodos, como la Transformada Wavelet Continua (CWT) y la Transformada de Fourier de Tiempo Corto (STFT). El método es validado en simulaciones y datos recopilados de fuentes de energías renovables, como así también en mediciones en tiempo real causado por el efecto flicker. Los resultados demuestran la efectividad del método en el análisis de señales que presentan variaciones en tiempo y frecuencia.

Palabras clave— Armónicos, Fuentes Renovables, Calidad de la Energía

* Autor de correspondencia

I. Introduction

Power quality refers to the suitability of the electrical power supplied to the equipment for its correct operation without affecting its performance [1, 2]. The current context of the increase in non-linear loads in modern power systems, electrical machines, electric arc furnaces, frequency inverters and integrations of renewable energy sources have repercussions on the generation of harmonic and interharmonic content for the analysis of power quality [3, 4, 5].

This influences the operation of the equipment connected to the network, causing overheating in the equipment, the flicker effect, vibrations and malfunctions [6, 7]. For this reason, it is necessary to carry out an early detection of harmonics and interharmonics to avoid damage and guarantee quality in power generation.

The use of traditional methods in signal analysis, such as the Fast Fourier Transform (FFT), is not ideal since they present imprecision [8, 9] and are not useful for the analysis of non-stationary signals, which is one of the main problems facing power quality [10, 11]. This case is like the Discrete Fourier Transform (DFT) for the detection of harmonic content due to the lack of time information [12].

In other investigations, it has been shown that methods such as the Wavelet Transform (WT) by decomposing the signal into frequency bands cause inaccurate estimates of harmonics [13]. The S-transform has been useful for the classification of power quality disturbances [14]; however, the window width is inversely proportional to the frequency, causing an imprecise estimation of interharmonics [15].

Some techniques for time-frequency analysis for non-stationary signals with variations, such as the Short-Time Fourier Transform (STFT) and the Continuous Wavelet Transform (CWT), have been useful. However, they are not precise enough when the signals tend to be almost stationary [16, 17]. The STFT presents defects in frequency leakage due to asynchronous transformations, unless the type of window is correctly selected, this decreases the frequency resolution [18].

The Wavelet Synchrosqueezing Transform (SSWT) is a nonlinear time-frequency analysis method based on CWT [19, 20], which has been useful in multicomponent signals that present oscillating modes in signal reconstruction [21, 22], thanks to the assignment of the CWT coefficient value to a different location in the frequency-time plane.

One of the main advantages in addition to anti-noise is the resolution of time-frequency curves, including signals that are weakly variable with respect to time. This algorithm has been applied to signal analysis, mechanical fault diagnosis, noise removal, showing good results [23,

24, 25, 26, 27, 28, 29].

This paper proposes the use of SSWT for the analysis of harmonics and interharmonics generated by synthetic signals and renewable energy sources in comparison to other techniques used in non-stationary signals.

The theory of the algorithm is presented in Section II. Section III provides the results of the method against simulations, first with a synthetic signal, then with a voltage signal from a three-phase induction motor being fed with harmonic and interharmonic content, which was simulated with Matlab and Simulink software. For renewable energy sources, a photovoltaic system is implemented with the same software, current signals are processed, and the SSWT is verified with measurements from a real-time dataset of solar panels for one day; additionally, it is tested on generated current signals from a detailed model of a wind turbine-driven doubly fed induction generator (DFIG) in Simulink. The study concludes in Section IV with the validation of the method with signals acquired from a motor-generator system varying the frequency resulting in the flicker effect. The best resolution is verified at frequencies that are not a multiple of the fundamental supply frequency.

II. Wavelet Synchrosqueezing

II.1. Theory

The applications of the SSWT include the analysis of signals in power systems [30] and mechanical vibrations [31], its main characteristic is the oscillating mode, in other words, being the set of components modeled in frequency and amplitude how it is expressed by (1).

$$s(t) = \sum_{k=1}^K A_k(t) \cos(2\pi\phi_k(t)) \quad (1)$$

where $A_k(t)$ is the amplitude, ϕ_k is considered as the phase, in both the frequency and amplitude do not vary, reallocating the energy in a single-frequency direction, therefore, the time resolution of the signal.

The signal can be accurately reconstructed to the original by applying the synchrosqueezing algorithm. The SSWT is based on the continuous wavelet transform W_s of the signal $s(t)$ defined by (2).

$$W_s(a, b) = \int s(t) a^{-\frac{1}{2}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

where s and b are parameters of the mother wavelet, ψ is the appropriately chosen wavelet. Applying Plancherel's theorem, we rewrite $W_s(a, b)$, the Continuous Wavelet Transform of s with respect to ψ , is (3).

$$\begin{aligned}
 W_s(a, b) &= \frac{1}{2\pi} \int \hat{s}(\xi) a^{\frac{1}{2}} \hat{\psi}(a\xi) e^{ib\xi} d\xi \\
 &= \frac{A}{4\pi} \int [\delta(\varsigma - \omega) + \delta(\varsigma + \omega)] \sqrt{a} \hat{\psi} \cdot e^{ib\varsigma} d\varsigma \quad (3) \\
 &= \frac{A}{4\pi} \sqrt{a} \hat{\psi}(a\omega) e^{ib\omega}
 \end{aligned}$$

if $W_s(a, b) \neq 0$ or any (a, b) , the instantaneous frequency $\omega(a, b)$ is obtained as (4).

$$\omega_s(a, b) = -i(2\pi W_s(a, b))^{-1} \frac{\partial}{\partial b} W_s(a, b) \quad (4)$$

The time scale plane transfers its information to the time-frequency plane by relocating points in (b, a) to $(b, \omega_s(a, b))$ in an operation called synchrosqueezing. This expression is given by equation (5).

$$T_s(\omega_1, b) = (\Delta\omega)^{-1} \sum_{a_k: |\omega(a, b) - \omega_1| \leq \Delta\omega/2} W_s(a_k, b) a_k^{-\frac{3}{2}} \Delta a_k \quad (5)$$

$W_s(a, b)$ was calculated only in discrete values a_k , with $a_k - a_{k-1} = (\Delta a)_k$, for Equation (5) the frequency is determined in the intervals $[(\omega_1 - \frac{\Delta\omega}{2}), (\omega_1 + \frac{\Delta\omega}{2})]$ the complete calculation is proved [32]. The signal after synchrosqueezing can be reconstructed in such a way as to obtain (6).

$$\int_0^\infty W_s(a, b) a^{-\frac{3}{2}} da = \int_0^\infty \overline{\hat{\psi}(\xi)} \frac{d\xi}{\xi} \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \hat{s}(\zeta) e^{ib\zeta} d\zeta \quad (6)$$

Setting $C_\psi = \frac{1}{2} \int_0^\infty \overline{\hat{\psi}(\xi)} \frac{d\xi}{\xi}$, we obtain (under the assumption that s is real, so that $\hat{s}(\xi) = \overline{\hat{s}(-\xi)}$, therefore $s(b) = \pi^{-1} \Re [\int_0^\infty \hat{s}(\xi) e^{ib\xi} d\xi]$). Applying a piecewise constant approximation corresponding to the binning at a , this becomes in (7).

$$\begin{aligned}
 s(b) &= \Re \left[C_\psi^{-1} \sum_k W_s(a_k, b) a_k^{-\frac{3}{2}} (\Delta a)_k \right] \\
 &= \Re \left[C_\psi^{-1} \sum_l T_s(\omega_l, b) (\Delta\omega) \right] \quad (7)
 \end{aligned}$$

II.2. Synchrosqueezing algorithm

The SSWT uses the CWT and its first derivative, the algorithm consists of three steps:

Step 1) Obtain the CWT of the input signal, in the instantaneous frequency capture an analytical wavelet is used.

Step 2) The instantaneous frequencies are extracted from the CWT output; this phase transformation is proportional to the first derivative with respect to

the translation. The partial derivative is divided by the wavelet transform and $i2\pi$ to obtain the instantaneous frequency.

Step 3) The ‘‘squeeze’’ is applied in regions of the CWT where the phase transformation is constant. Reallocation produces a cleaner output of the SSWT compared to the CWT.

III. Study and performance analysis

The use of renewable energies, such as wind and solar energy, has increased the penetration of harmonic and interharmonic content [33, 34, 35]; likewise, new energies in the industry, such as the use of induction motors, have impacted in the power quality [36]. Therefore, the detection of these disturbances is essential for their mitigation and control.

The performance of the SSWT method is compared with other traditional methods in different cases, a non-stationary signal with harmonic and interharmonic content, a noisy signal generated by an induction motor, renewable energies connected to the grid such as a photovoltaic and wind system. Finally, the application and effectiveness of the SSWT in experimental measurements associated with the flicker effect are demonstrated.

III.1. Harmonics and interharmonics in non-stationary signal

A non-stationary signal is one that changes its properties with respect to time, that is, it presents variations in its frequency in different periods of time. The synthetic signal $x(t)$ is generated in such a way that:

$$x(t) = \begin{cases} \sin(2\pi 60t) & 0 < t < 1s \\ 0.2 \sin(2\pi 78t) + 0.3 \sin(2\pi 105t) & 0.1 < t < 0.35s \\ 0.8 \sin(2\pi 137t) & 0.35 < t < 0.45s \\ 0.9 \sin(2\pi 178t) & 0.45 < t < 0.6s \\ 0.6 \sin(2\pi 217t) + 0.2 \sin(2\pi 348t) & 0.6 < t < 0.89s \end{cases} \quad (8)$$

The signal contains interharmonic frequencies at 78 Hz, 105 Hz, 137 Hz, 178 Hz, 217 Hz and 348 Hz, their amplitudes correspond to 0.2, 0.3, 0.8, 0.9, 0.6 and 0.2, the sampling frequency is 1200 Hz.

The generated signal is observed in Figure 1a; likewise, the SSWT compared to other methods, such as CWT and STFT, demonstrate a more accurate estimate of the harmonic content generated in figures 1b-1d, this occurs due to the inherent logarithmic nature of the function extractor, using an adaptive window. Wavelets enjoy superior instantaneous amplitude and frequency rapping, making them ideal for evolution processes.

Table 1 shows the deficiency of CWT for the actual values of the non-stationary signal, while SSWT has a smaller relative error at most values of the identified interharmonic frequencies.

Table 1: Accuracy and relative error for the detection of harmonics and interharmonics in a non-stationary signal

Value (Hz)	Detection Value (Hz)		Relative Error (%)	
	CWT	SSWT	CWT	SSWT
60	59.35	60.41	1.08	0.68
78	78.43	78.94	0.55	0.55
105	102.7	105.5	2.15	0.47
137	134.5	137.8	1.78	0.58
178	176.2	180.1	0.98	1.17
217	216.7	220	0.11	1.38
348	339.8	349	2.35	0.28

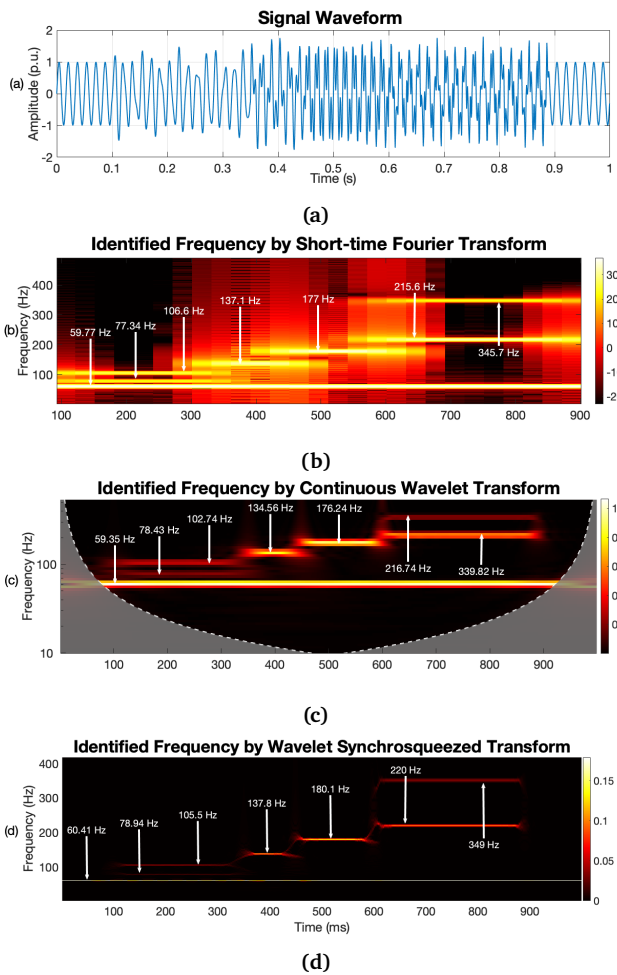


Figure 1: Detection of harmonics and interharmonics

III.2. Frequency variations on induction motor

Induction motors are a source of generation of harmonic content, either due to their construction of the magnetic circuit or the asymmetries they present. Adjustable speed drives are a main source of motor harmonic and interharmonic generation [37]. In Simulink, an in-

duction motor at 100 HP, 460 V, 60 Hz at 1780 RPM was used. This model is shown in Figure 2. It was fed with two programmable AC power sources at 120 Vrms at 60 Hz and a harmonic generation of amplitude 5 and 2 (p.u.), with a phase 25 and 0. The second programmable source was configured at 220 Vrms at 50 Hz, with variations in frequency of 10 Hz and harmonic generation of amplitude of 3 and 2 (p.u.), with phases of -15 and 35, the sampling frequency was 10 kHz.

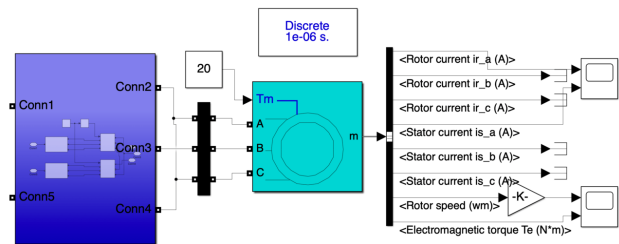


Figure 2: Induction Motor Model

For this case, the harmonics and interharmonics of the voltages are directly associated with the frequency variators, which control the speed of the motor, so the harmonic and interharmonic currents that appear are considered, the values of one phase of the motor are taken. In the harmonic analysis with the FFT, interharmonic components were found at 52 Hz, 53 Hz, 59 Hz, 63 Hz, 100 Hz, the other frequencies being integer multiples of the fundamental frequency at 60 Hz, 120 Hz, 150 Hz and 180 Hz.

The application of the STFT shows spectral leaks in Figure 3b, while the CWT and SSWT show to be suitable methods for the analysis of non-stationary signals in electrical machines, however, the SSWT shows a smaller relative error in the estimates of the harmonic and interharmonic content, in addition it does not present any type of spectral leak having a better resolution, the comparison of these values is presented in Table 2.

Table 2: Detection of harmonics and interharmonics and relative error on induction motor

Value (Hz)	Detection Value (Hz)		Relative Error (%)	
	CWT	SSWT	CWT	SSWT
52	52.17	52.37	0.32	0.71
53	53.62	53.53	1.16	1
59	59.37	59.85	0.62	1.44
60	60.67	60	1.11	0
63	62	63	1.58	0
100	102.2	99.86	2.2	0.14
120	121.59	119.3	1.32	0.58
150	151.09	150	0.72	0
180	179.37	180	0.35	0

In Figure 3d the magnitude in each harmonic and interharmonic shows a better precision than the other frequencies identified by the CWT.

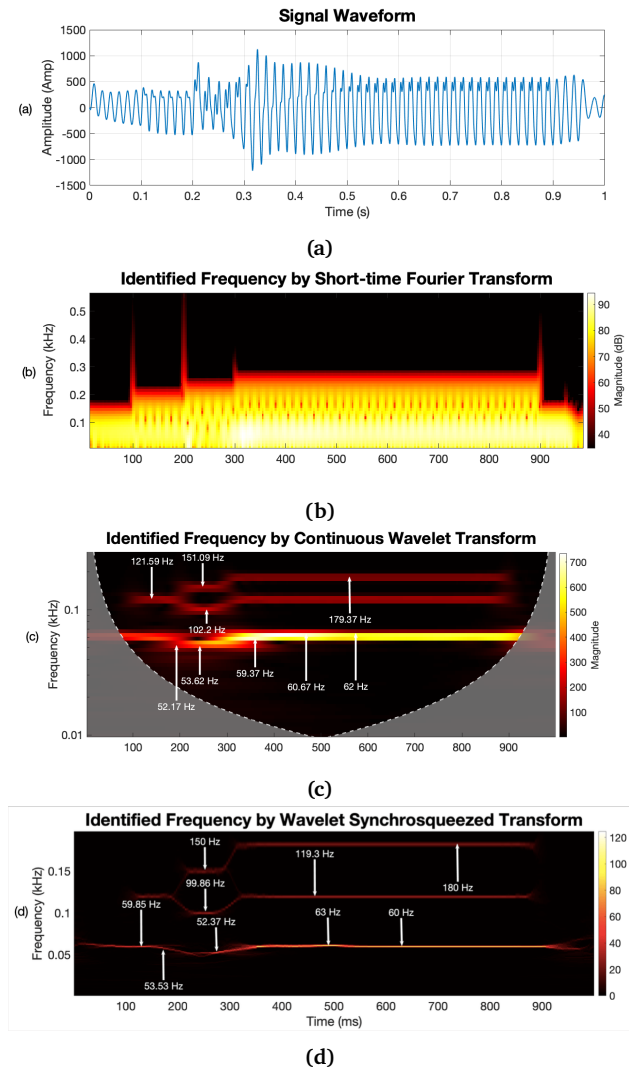


Figure 3: Detection of harmonics and interharmonics in induction motor

IV. Analysis of interharmonics in renewable energies

IV.1. Photovoltaic system

Inverters in photovoltaic systems (PV) are one of the main generators of harmonic and interharmonic content, harmonic analysis is essential, various studies have shown that MPPT inverters and controllers in AC/DC and DC/DC links are the main source of harmonic disturbances in the grid [33, 34].

A case of inverters in photovoltaic systems is analyzed, the system is three-phase and consists of two stages. The

first stage is made up of a DC voltage boost converter, the second stage considers an inverter connected to a domestic network at 400 Vrms and 50 Hz, with a sampling frequency of 10 KHz, the model was developed in Matlab Simulink, which is shown in Figure 4.

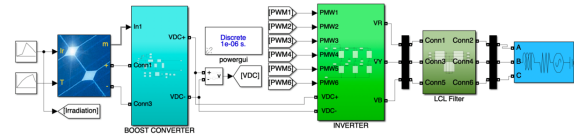


Figure 4: Three-phase photovoltaic system model

The most relevant parameters of the system are presented in Table 3.

Table 3: Parameters of PV System

Parameter	Value
Three-phase inverter circuit switching Frequency	5 KHz
Rated Power	100 KW
Filter LCL	500 μ H, 100 μ F
Duty Cycle	0.2
Energy Storage Inductor	3 mH
DC Side Capacitance	3227 μ F
V_{MPPT}	270-300 V

Figure 5d shows the resolution of the SSWT compared to the low performance of the STFT, the CWT manages to have a resolution with the variation of time-frequency, however, it presents spectral leaks at frequencies close to the fundamental one, which is observed in Figure 5c, on other words, the SSWT manages to perceive the interharmonics present in magnitudes that allow their visualization above 200 Hz.

To verify the usefulness and resolution of this method, the solar current signal of a panel system was analyzed in winter, the data set was provided at the Clemson University Power Systems Conference (PSC) 2016 for “Dynamic loads and load method microgeneration for a Housing Management System” in the Southeast of Brazil [38].

Results on Figure 6 analyze harmonics current from a daily output power generation sampled each 5 minutes. These values of current represent an average steady-state at fundamental frequency.

In this case, it is recommended to use alternating current signal output from the inverter at maximum power output generation of PV-System, which according with Standar IEEE-519, must be less 5% THD (total harmonic distortion) [39]. The SSWT in Figure 6d demonstrates the presence of interharmonics, it is possible to know what frequency occurs in certain time intervals.

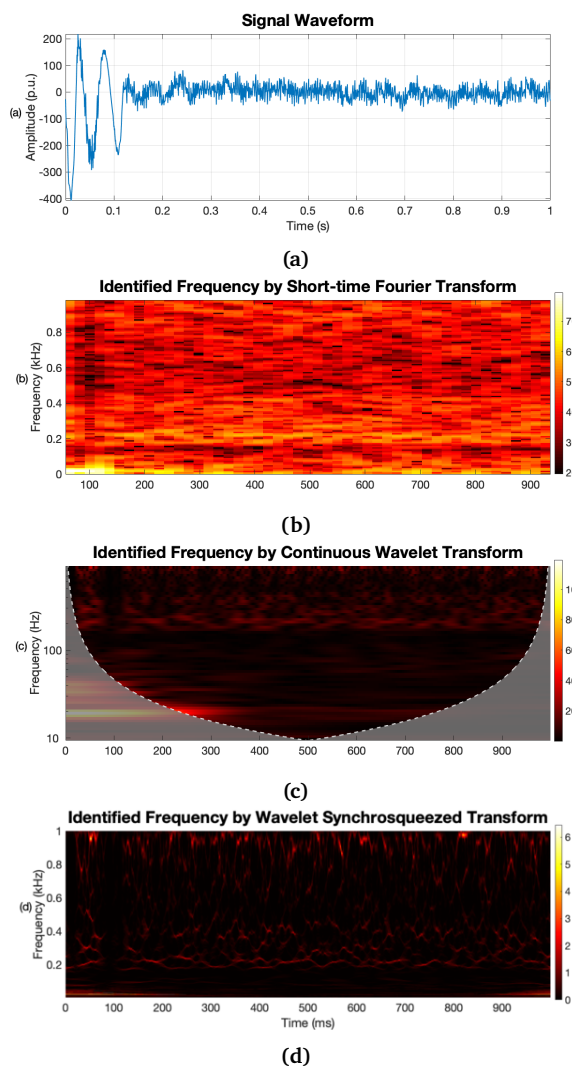


Figure 5: Detection of harmonics and interharmonics in PV System

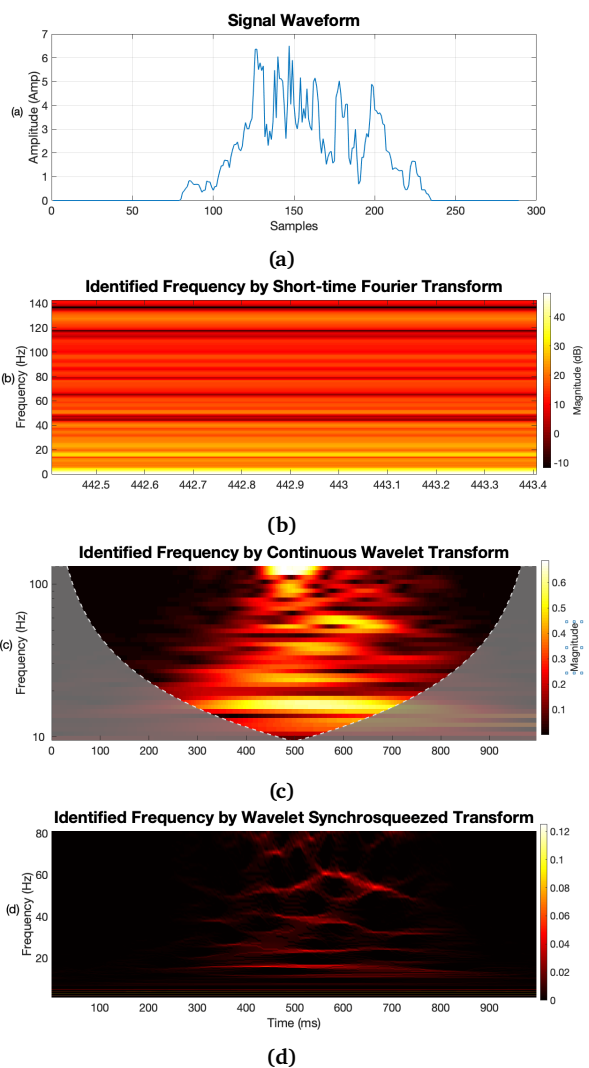


Figure 6: Detection of harmonics current and interharmonics in PV System

IV.2. Wind farm

The method was verified in a model of a system connected to the electricity grid generated from wind energy in Simulink, the sampling frequency is around 748 Hz and a total energy of 9 MW, the system is visualized in Figure 7. This model was suitable for analyzing harmonic content over short periods of time. It is made up of six 1.5 MW wind turbines connected to a 25 kV distribution system, the energy exported is 120 kV.

The turbines use a doubly fed induction generator (DFIG), the motor stator is connected directly to the 60 Hz grid and the wind speed is maintained at 15 m/s. The signal corresponds to the triphasic current, again in Figure 8d the precision in resolution of the SSWT is shown, the other two methods present a poor resolution.

Considering the inclusion of renewable energy sources

in solar panels and wind generators, the use of SSWT is feasible, because it demonstrates a high resolution compared to other traditional methods against harmonic analysis, additionally, it should be noted that the combination of this technique in signal analysis with machine learning and deep learning [40, 41], offer reliable results, as well as precise estimates in the regulation and control of harmonics.

V. Results and measurement experiments

One of the main effects of the high generation and disturbances of interharmonic content is the flicker effect [42], this effect is visible as a flicker in intensity in illuminations [43] and is mainly reflected in voltage fluctuations in the electrical network. Being the interharmonics the main cause of the flicker effect and low

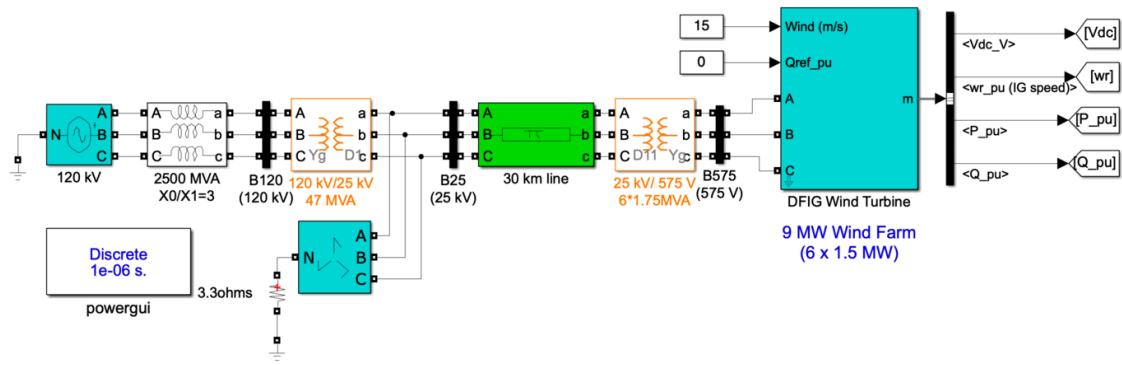
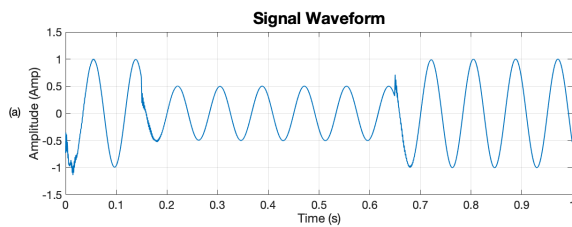
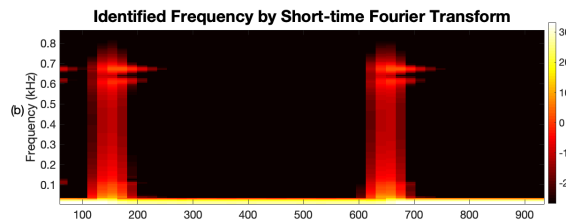


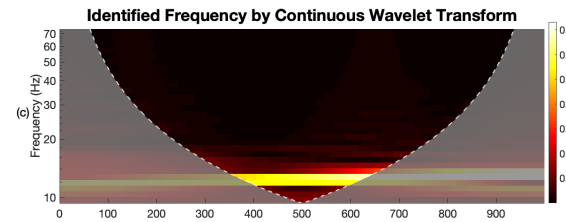
Figure 7: Wind Farm – DFIG Model



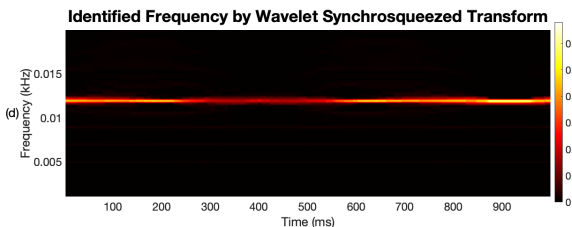
(a)



(b)

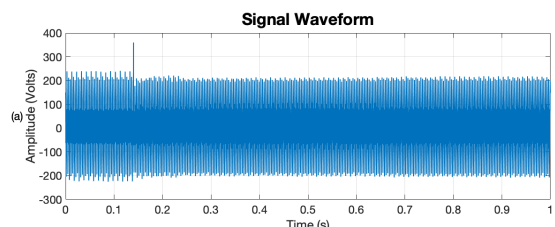


(c)

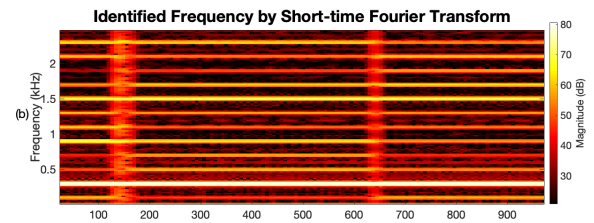


(d)

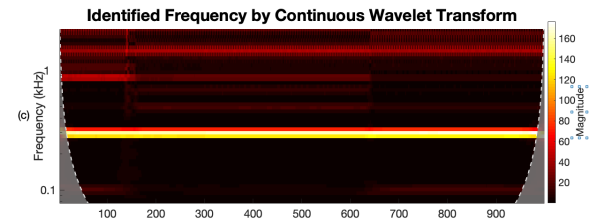
Figure 8: Detection of harmonics current and interharmonics in Wind Farm



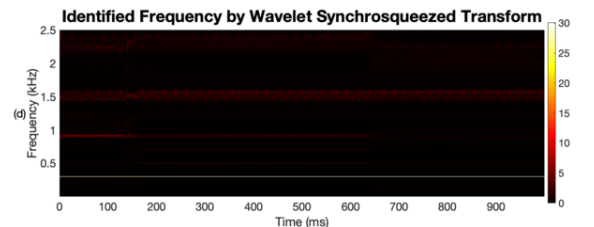
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 9: Detection of harmonics current and interharmonics in flicker Signal

performance of equipment connected to the network, it is considered as an important affectation in the power quality.

For this reason, a flicker signal produced from the variation of the frequency [37] was acquired, with a Danfoss VLT Micro speed variator for a module made up of an ABB three-phase induction motor at 1610 RPM and 220 RPM/400 Volts, in conjunction with a synchronous motor with resistive load, to visualize this effect a 100 W incandescent bulb was added.

The voltage signal was acquired with a National Instruments USB-6009 DAQ and a ZMPT101B AC voltage sensor, thus measuring one of the phases of the motor with a DC load. Figure 9a shows the generated signal, with a sampling frequency of 5 kHz. The acquired values are imported into Matlab, where the sampling frequency and the number of samples are defined, to perform the processing through the SSWT, the function is called with the 'wssst' command. In figures 9b to 9c the low resolutions in time and frequency are confirmed, unlike the SSWT, demonstrating its high effectiveness in non-stationary signals.

VI. Conclusion

This study demonstrates the limitations of traditional methods for time-frequency analysis of non-stationary signals generated in renewable energy sources with the short-time Fourier Transform and the Continuous Wavelet Transform; considering systems based on solar panels as wind generators before the evaluation in the power quality and the growing increase in modern power systems.

The Wavelet Synchrosqueezing Transform turns out to be a reliable and effective method for the analysis of harmonic and interharmonic content in AC/DC links, demonstrating a wide frequency and time resolution even in oscillatory signals with a smaller relative error.

The algorithm is applicable to existing disturbances in the electrical network due to other effects considered, such as the flicker effect, being the reconstruction of the signal from the CWT the frequencies extracted one of the main virtues to show a better resolution.

Acknowledgment

Thanks to TecNM, Ciudad Guzman Institute Technological campus and the CONACYT National Quality Postgraduate Program, for the financial support used in part to carry out the experiments.

References

- [1] M.H.J. Bollen. «What is power quality?» In: *Electric Power Systems Research* 66.1 (2003). Power Quality, pp. 5–14. ISSN: 0378-7796. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(03\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(03)00067-1). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779603000671>.
- [2] Surajit Chattopadhyay, Madhuchhanda Mitra, and Samarjit Sengupta. «Electric Power Quality». In: *Electric Power Quality*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011, pp. 5–12. ISBN: 978-94-007-0635-4. DOI: 10.1007/978-94-007-0635-4_2. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-007-0635-4_2.
- [3] Artvin-Darien Gonzalez-Abreu et al. «Advances in Power Quality Analysis Techniques for Electrical Machines and Drives: A Review». In: *Energies* 15.5 (2022). ISSN: 1996-1073. DOI: 10.3390/en15051909. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/5/1909>.
- [4] Xiaodong Liang. «Emerging Power Quality Challenges Due to Integration of Renewable Energy Sources». In: *IEEE Transactions on Industry Applications* 53 (2 2017). ISSN: 00939994. DOI: 10.1109/TIA.2016.2626253.
- [5] Mohammad Ghiasi et al. «Role of Renewable Energy Sources in Evaluating Technical and Economic Efficiency of Power Quality». In: *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy* 5 (1 2020). ISSN: 21994706. DOI: 10.1007/s40866-019-0073-1.
- [6] Thavatchai Tayjasant et al. «Interharmonic-flicker curves». In: *IEEE Transactions on Power Delivery* 20 (2 I 2005). ISSN: 08858977. DOI: 10.1109/TPWRD.2004.838639.
- [7] Piotr Gnaciński et al. «Effects of Voltage Interharmonics on Cage Induction Motors». In: *Energies* 14.5 (2021). ISSN: 1996-1073. DOI: 10.3390/en14051218. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1218>.
- [8] Shumin Zhou, Bin Tang, and Rui Chen. «Comparison between non-stationary signals fast Fourier transform and wavelet analysis». In: 2009. DOI: 10.1109/ASIA.2009.31.
- [9] M Sifuzzaman, M. R. Islam, and M. Z. Ali. «Application of Wavelet Transform and its Advantages Compared to Fourier Transform». In: *Journal of Physical Sciences* 13 (2009). ISSN: 0972-8791.

- [10] Maxim G. Popov and Denis E. Petrushin. «Analytical Signals Using for the Power Systems Non-Stationary Modes Analysis». In: 2020. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9038953.
- [11] Silvano Vergura et al. «A nonlinear and non-stationary signal analysis for accurate power quality monitoring in smart grids». In: vol. 2014. 2014. DOI: 10.1049/cp.2014.0871.
- [12] Hsiung Cheng Lin. «Power harmonics and interharmonics measurement using recursive group-harmonic power minimizing algorithm». In: *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 59 (2 2012). ISSN: 02780046. DOI: 10.1109/TIE.2011.2157281.
- [13] Xinyi Gu et al. «Wavelet transform based approach to harmonic analysis». In: 2011. DOI: 10.1109/EPQU.2011.6128954.
- [14] Qiu Tang, Wei Qiu, and Yicong Zhou. «Classification of Complex Power Quality Disturbances Using Optimized S-Transform and Kernel SVM». In: *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 67 (11 2020). ISSN: 15579948. DOI: 10.1109/TIE.2019.2952823.
- [15] Jiliang Yi et al. «A Novel Technique for Fundamental and Harmonic Parameter Estimation Using Nonergodic S-Transform». In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 68 (10 2019). ISSN: 15579662. DOI: 10.1109/TIM.2018.2880064.
- [16] Hohyub Jeon et al. «Area-efficient short-time fourier transform processor for time-frequency analysis of non-stationary signals». In: *Applied Sciences (Switzerland)* 10 (20 2020). ISSN: 20763417. DOI: 10.3390/app10207208.
- [17] Varun Gupta et al. «ECG signal analysis using CWT, spectrogram and autoregressive technique». In: *Iran Journal of Computer Science* 4 (4 2021). ISSN: 2520-8438. DOI: 10.1007/s42044-021-00080-8.
- [18] Carlos Mateo and Juan Antonio Talavera. «Bridging the gap between the short-time Fourier transform (STFT), wavelets, the constant-Q transform and multi-resolution STFT». In: *Signal, Image and Video Processing* 14 (8 2020). ISSN: 18631711. DOI: 10.1007/s11760-020-01701-8.
- [19] Yangkang Chen et al. «Time-frequency analysis of seismic data using synchrosqueezing wavelet transform». In: 2014. DOI: 10.1190/segam2014-0034.1.
- [20] Jean Baptiste Tary, Roberto Henry Herrera, and Mirko Van Der Baan. «Analysis of time-varying signals using continuous wavelet and synchrosqueezed transforms». In: *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 376 (2126 Aug. 2018). ISSN: 1364503X. DOI: 10.1098/rsta.2017.0254.
- [21] Zuo Cai Wang, Wei Xin Ren, and Jing Liang Liu. «A synchrosqueezed wavelet transform enhanced by extended analytical mode decomposition method for dynamic signal reconstruction». In: *Journal of Sound and Vibration* 332 (22 2013). ISSN: 0022460X. DOI: 10.1016/j.jsv.2013.04.026.
- [22] Roberto H. Herrera, Jiajun Han, and Mirko van der Baan. «Applications of the synchrosqueezing transform in seismic time-frequency analysis». In: *Geophysics* 79 (3 2013). ISSN: 19422156. DOI: 10.1190/GEO2013-0204.1.
- [23] Jian Lu, Qingtang Jiang, and Lin Li. «Analysis of adaptive synchrosqueezing transform with a time-varying parameter». In: *Advances in Computational Mathematics* 46 (5 2020). ISSN: 15729044. DOI: 10.1007/s10444-020-09814-x.
- [24] Wei Liu, Wei Chen, and Zhihua Zhang. «A Novel Fault Diagnosis Approach for Rolling Bearing Based on High-Order Synchrosqueezing Transform and Detrended Fluctuation Analysis». In: *IEEE Access* 8 (2020). ISSN: 21693536. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2965744.
- [25] Xiaotong Tu et al. «Demodulated High-Order Synchrosqueezing Transform with Application to Machine Fault Diagnosis». In: *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 66 (4 2019). ISSN: 02780046. DOI: 10.1109/TIE.2018.2847640.
- [26] Zehui Hua et al. «Iterative matching synchrosqueezing transform and application to rotating machinery fault diagnosis under nonstationary conditions». In: *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 173 (2021). ISSN: 02632241. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108592.
- [27] Pinar Ozel, Aydin Akan, and Bulent Yilmaz. «Synchrosqueezing transform based feature extraction from EEG signals for emotional state prediction». In: *Biomedical Signal Processing and Control* 52 (2019). ISSN: 17468108. DOI: 10.1016/j.bspc.2019.04.023.
- [28] Delaram Jarchi, Saeid Sanei, and Ales Prochazka. «Detection of Sleep Apnea/hypopnea Events Using Synchrosqueezed Wavelet Transform». In: vol. 2019-May. 2019. DOI: 10.1109/ICASSP.2019.8682893.

- [29] J.H. Arellano-Pérez et al. «Electrochemical noise signals evaluation to classify the type of corrosion using Synchrosqueezing transform». In: *Journal of Electroanalytical Chemistry* 848 (2019), p. 113249. ISSN: 1572-6657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.113249>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157266571930517X>.
- [30] Yan Zhao et al. «Application of synchrosqueezed wavelet transforms for extraction of the oscillatory parameters of subsynchronous oscillation in power systems». In: *Energies* 11 (6 2018). ISSN: 19961073. DOI: 10.3390/en11061525.
- [31] Shibin Wang et al. «Matching Synchrosqueezing Wavelet Transform and Application to Aeroengine Vibration Monitoring». In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 66 (2 2017). ISSN: 00189456. DOI: 10.1109/TIM.2016.2613359.
- [32] Ingrid Daubechies, Jianfeng Lu, and Hau Tieng Wu. «Synchrosqueezed wavelet transforms: An empirical mode decomposition-like tool». In: *Applied and Computational Harmonic Analysis* 30 (2 2011). ISSN: 10635203. DOI: 10.1016/j.acha.2010.08.002.
- [33] Vineetha Ravindran et al. «Time-Varying Interharmonics in Different Types of Grid-Tied PV Inverter Systems». In: *IEEE Transactions on Power Delivery* 35 (2 2020). ISSN: 19374208. DOI: 10.1109/TPWRD.2019.2906995.
- [34] Ariya Sangwongwanich and Frede Blaabjerg. «Mitigation of Interharmonics in PV Systems with Maximum Power Point Tracking Modification». In: *IEEE Transactions on Power Electronics* 34 (9 2019). ISSN: 19410107. DOI: 10.1109/TPEL.2019.2902880.
- [35] Kai Yang and Math H.J. Bollen. «Interharmonic currents from a Type-IV wind energy conversion system». In: *Electric Power Systems Research* 143 (2017). ISSN: 03787796. DOI: 10.1016/j.epsr.2016.09.010.
- [36] P. Gnacinski and T. Tarasiuk. «Energy-efficient operation of induction motors and power quality standards». In: *Electric Power Systems Research* 135 (2016). ISSN: 03787796. DOI: 10.1016/j.epsr.2016.03.022.
- [37] Francesco De Rosa et al. «On the interharmonic components generated by adjustable speed drives». In: *IEEE Transactions on Power Delivery* 20 (4 2005). ISSN: 08858977. DOI: 10.1109/TPWRD.2005.852313.
- [38] Filipe Fernandes et al. «Dynamic loads and micro-generation method for a House Management System». In: 2016. DOI: 10.1109/PSC.2016.7462829.
- [39] Alejandro R. Oliva and Juan Carlos Balda. «A PV dispersed generator: A power quality analysis within the IEEE 519». In: *IEEE Transactions on Power Delivery* 18 (2 2003). ISSN: 08858977. DOI: 10.1109/TPWRD.2003.809685.
- [40] Mohammad Hossein Rafiei and Hojjat Adeli. «A novel machine learning-based algorithm to detect damage in high-rise building structures». In: *Structural Design of Tall and Special Buildings* 26 (18 2017). ISSN: 15417808. DOI: 10.1002/ta1.1400.
- [41] Longzhang Ke et al. «Fault diagnosis with synchrosqueezing transform and optimized deep convolutional neural network: An application in modular multilevel converters». In: *Neurocomputing* 430 (2021). ISSN: 18728286. DOI: 10.1016/j.neucom.2020.11.037.
- [42] J. Drápela and P. Toman. «Interharmonic - Flicker curves of lamps and compatibility lever for interharmonic voltages». In: 2007. DOI: 10.1109/PCT.2007.4538546.
- [43] Taekhyun Kim et al. «LED lamp flicker caused by interharmonics». In: 2008. DOI: 10.1109/IMTC.2008.4547361.

Effects on the survival a cladoceran exposed to endocrine disruptors

Efectos de la sobrevivencia de un cladóceros expuesto a disruptores endocrinos

Manuel Aaron Gayosso Morales¹, Brenda Karen González-Pérez^{*1}, Dania Monserrath Arias¹, and Wendy Arcos Leonar¹

¹ Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana del Valle de México (UTVAM), Área Tecnología Ambiental, Miguel Hidalgo y Costilla No. 5, Fraccionamiento Los Héroes, Tizayuca, Hidalgo, México.

{aagayosso,brenda.glz.perez}@gmail.com, {18113ta,18116ta}@utvam.edu.mx

Abstract

Triclosan and dibutyl phthalate are emerging contaminants commonly used by the human population, commonly found as active ingredients in many conventional products such as polymers or disinfectant agents. Triclosan and dibutyl phthalate, have been detected in natural water bodies. Compounds like these usually enter the aquatic systems in different ways, due to inappropriate discharges or their mishandling. Zooplankton organisms, such as rotifers and cladocerans, usually inhabit natural aquatic systems. *Moina macrocopa* is a cladoceran species widely distributed in water bodies in Mexico, and has also been used previously in ecotoxicological tests to determine the effects of pollutants. The following work aimed to determine the effect of triclosan and dibutyl phthalate on the survival of *M. macrocopa*. The concentrations used in the experiments were 15, 30 and 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ for triclosan and 100, 200 and 400 $\mu\text{g L}^{-1}$ for dibutyl phthalate, respectively. The results show a decreasing trend of the population with the increase of triclosan and dibutyl phthalate in the medium. The effect of triclosan on *Moina macrocopa* was greater compared to dibutyl phthalate. Ecotoxicological assays are necessary to determine the effects of pollutants on zooplankton species, whose ecological relevance is of utmost importance in water bodies.

Keywords— Triclosan, dibutyl phthalate, survivorship

Resumen

El triclosán y ftalato de dibutilo son contaminantes emergentes de uso común como ingredientes activos en productos convencionales como polímeros o agentes desinfectantes. El triclosán y ftalato de dibutilo, han sido detectados en ambientes acuáticos naturales. Estos compuestos suelen entrar de diversas formas en los sistemas acuáticos, por descargas inapropiadas o mal manejo. Organismos del zooplankton, como rotíferos y cladóceros, suelen habitar los sistemas acuáticos de manera natural. *Moina macrocopa* es una especie de cladóceros ampliamente distribuida en cuerpos de agua de México, además de ser utilizada en ensayos ecotoxicológicos para determinar efectos del contaminante. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de triclosán y ftalato de dibutilo sobre la sobrevivencia de *M. macrocopa*. Las concentraciones utilizadas fueron 15, 30 y 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ para triclosán y 100, 200 y 400 $\mu\text{g L}^{-1}$ para ftalato de dibutilo. Los resultados mostraron una tendencia de disminución de la población con el incremento de triclosán y ftalato de dibutilo en el medio. El efecto de triclosán sobre *Moina macrocopa* fue mayor en comparación a ftalato de dibutilo. Estudios ecotoxicológicos son necesarios para determinar los efectos de los contaminantes sobre especies de zooplancton, cuya relevancia ecológica es de suma importancia en los cuerpos de agua.

Palabras clave— Triclosan, Ftalato de dibutilo, supervivencia

* Autor de correspondencia

I. Introducción

La presencia de contaminantes emergentes en ambientes acuáticos cada vez resulta de mayor preocupación no solo para la comunidad científica sino en general. Los contaminantes emergentes se dividen en: fármacos, productos de limpieza, retardantes de llamas, pesticidas, disruptores endocrinos y más.

Los disruptores endocrinos son considerados como agentes exógenos que tienen un efecto sobre la homeostasis de los organismos [1]. Los disruptores endocrinos pueden actuar de dos formas: durante el desarrollo embrionario (cuando pueden alterar la determinación del sexo y/o influenciar el desarrollo cerebral) y cuando tienen un efecto activador durante todo el ciclo de vida (que interactúan con las señales activadoras celulares y llegan a estimular el crecimiento o activación de órganos) [2].

Existe evidencia que los disruptores endocrinos son capaces de acumularse en la cadena alimentaria y debido a su estructura química, tienen una tendencia a bioacumularse en tejidos, principalmente en aquellos adiposos [2, 3].

El triclosán (5-cloro-2-(2,4-diclorofenoxi)fenol) es un fenol halogenado utilizado ampliamente en Norte América, Europa y Asia como un antimicrobiano para combatir bacterias de la cavidad oral (adulto) y piel [4]. Hasta el 2002, cerca de 1500 toneladas de triclosán fueron utilizadas por año alrededor del mundo [5].

Actualmente es usado ampliamente por la población en forma de jabones antibacteriales (0.1–0.3%), desodorantes, cremas corporales, pasta dental y plásticos [6, 7]. Se sabe que los antisépticos son agentes químicos que disminuyen o detienen el crecimiento de bacterias en superficies externas del cuerpo y de este modo previenen infecciones [8].

A diferencia de otros productos de cuidado personal, este compuesto no es consumido por la población por lo que no llega a ser metabolizado por el cuerpo [9]. Sin embargo, algunos estudios demuestran que el triclosán a través de la red trófica puede ser fotolizado u ocurrir metilación y de esta manera, dar lugar a un éter más bioacumulativo (2, 8-dichlorodibenzo-p-dioxin) en cuerpos de agua naturales [10]. Este xenobiótico se encuentra entre los 10 contaminantes orgánicos más frecuentemente detectados en ambientes acuáticos [11].

El ftalato de dibutilo es un compuesto orgánico que se usa comúnmente como plastificante debido a su baja toxicidad y su amplio rango de líquidos. Es uno de los seis ésteres de ácido ftálico que se encuentran en la Lista de Contaminantes Prioritarios, además está integrado en contaminantes regulados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [12]. Aunque se usa ampliamente como plastificante, es un contaminante ambiental ubicuo que representa un riesgo para la población

humana.

Los disruptores endocrinos que provienen de diferentes fuentes, en muchos casos están siendo descargados directamente a diferentes reservorios sin un tratamiento previo. Algunos de estos han sido encontrados en concentraciones que van de $ng L^{-1}$ a $\mu g L^{-1}$ en efluentes y pueden llegar a tener un efecto negativo en organismos no objetivo [13, 14].

A pesar de su baja concentración en el medio, su descarga continua hacia ambientes acuáticos puede resultar en efectos indeseables en organismos acuáticos [15]. Aún después del tratamiento previo, en estas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) algunos contaminantes emergentes no logran ser eliminados en su totalidad [16].

Los organismos del plancton, específicamente los rotíferos, son más sensibles a ciertos desinfectantes que otros organismos invertebrados [17]. Además, son considerados excelentes indicadores en pruebas de toxicidad. Por lo que es fundamental estudiar el efecto del triclosán y ftalato de dibutilo sobre estos organismos debido a un contacto inevitable.

Especies de cladóceros han sido ampliamente utilizados en ensayos ecotoxicológicos para evaluar los efectos de contaminantes emergentes en el agua. Ciertas especies de la familia Daphniidae o Moinidae han sido usados con anterioridad y son considerados buenos modelos ecotoxicológicos, además de encontrarse en cuerpos de agua de México.

Por lo que el objetivo del siguiente estudio fue determinar los efectos crónicos del triclosán y ftalato de dibutilo como presuntos disruptores endocrinos, sobre la esperanza de vida del cladóceros *Moina macrocopa*.

II. Materiales y métodos

Se realizaron experimentos estándares de tabla de vida demográfica utilizando tres concentraciones subletales de triclosán y de ftalato de dibutilo por separado, además del grupo testigo (sin la presencia del tóxico) para *Moina macrocopa*. La especie fue recolectada y aislada en condiciones de laboratorio del Lago de Zumpango.

La microalga, *Scenedesmus acutus* (cultivada en el laboratorio de Biología Molecular, UTVAM) fue utilizada para alimentar a los cladóceros en frascos de prueba a una densidad de 1×10^6 cels mL^{-1} por día. Los experimentos de las pruebas de toxicidad fueron realizados en dos partes por separado, utilizando una única generación (F0).

El primer experimento fue iniciado con F0 para el cual el diseño experimental consistió en 20 frascos transparentes con una capacidad de 100 mL, cada uno con 50 mL del medio a probar. Cada tratamiento tuvo cuatro réplicas. Pipetas Pasteur fueron utilizadas para contar

individualmente e introducir 10 neonatos de la especie de cladóceros en los frascos de prueba que contenían 50 mL de medio EPA con la microalga y la concentración de triclosán y ftalato de dibutilo en el medio.

De cada uno de los frascos de prueba el número de neonatos producidos y las muertes de los adultos (cuando estaban presentes), fueron contabilizados y descartados cada 24 horas. Los individuos sobrevivientes de cada cohorte fueron transferidos diariamente a un frasco limpio que contenía la concentración correspondiente de triclosán o ftalato de dibutilo, además de *S. acutus* en el medio.

Los experimentos para *Moina macrocopa* fueron descontinuados cuando el último individuo de cada cohorte murió. Los datos fueron utilizados para derivar las gráficas de sobrevivencia.

III. Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa claramente que existen efectos adversos sobre la sobrevivencia del cladóceros, *Moina macrocopa*. De manera general, conforme existe un incremento en las concentraciones en el medio, tanto de triclosán como del ftalato de dibutilo, existe una disminución en la sobrevivencia de la población.

En el caso específicamente del *M. macrocopa* al ser expuesto a triclosán, se observó una disminución considerable en la población en niveles más elevados (Figura 1). Por otra parte, cuando la población del cladóceros es expuesta a las concentraciones más elevadas de triclosán, es notable como se observa una disminución brusca en la tendencia de la supervivencia en el día 3 en la concentración de $60 \mu\text{g L}^{-1}$, en comparación con el tratamiento en donde no existe ningún contaminante en el medio.

En el caso, en donde el cladóceros fue expuesto a diferentes niveles de ftalato de dibutilo (Figura 2), existe una tendencia similar, sin embargo, la población cae de manera progresiva. En la concentración más baja ($100 \mu\text{g L}^{-1}$), a partir del día siete, la población muestra una disminución importante en la sobrevivencia (menor a 0.4 ind. mL^{-1}), en donde se puede observar que el organismo resultó más afectado en comparación con las demás concentraciones.

Por otra parte, se puede observar un decremento notable de *M. macrocopa*, a partir de la segunda semana de ser expuesto al contaminante emergente, en comparación con el tratamiento de testigo.

Independientemente de las concentraciones a las que fueron expuestas las poblaciones de cladóceros se observó un decremento significativo en los tratamientos en donde contenían los disruptores endocrinos seleccionados para el estudio. Sin embargo, se observa una disminución muy específica cuando la especie, *Moina macrocopa* es

expuesta a las concentraciones más elevadas de triclosán y ftalato de dibutilo.

Por otra parte, las concentraciones utilizadas en este estudio fueron basadas en pruebas ecotoxicológicas agudas previas para poder determinar las concentraciones crónicas que son niveles ambientalmente relevantes, es decir que son concentraciones que se logran detectar en ambientes acuáticos de México.

En ambos casos con base en los resultados de exposición, se observó una disminución de la población en la primera semana de vida de los microorganismos.

IV. Discusión

El triclosán es un compuesto ampliamente utilizado en productos de cuidado personal como un ingrediente activo en Europa, América del Norte y Asia [1]. Al ser un producto ampliamente demandado por la población, su frecuente detección en ambientes naturales se ha incrementado.

Estudios como el de Díaz-Torres [18], han reportado concentraciones ambientalmente significativas en cuerpos de agua de México, lo cual ha generado preocupación no solo en la población sino también en la comunidad científica. Por otra parte, estudios previos han demostrado el impacto negativo de la exposición de triclosán en organismos acuáticos como peces y especies de zooplankton, como rotíferos y cladóceros [9, 1, 19].

Esto ha demostrado el efecto negativo de triclosán en la sobrevivencia, reproducción e incluso en aspectos de comportamiento de los organismos acuáticos. En este estudio, los datos obtenidos muestran, como es el caso de otros autores, un efecto adverso sobre la sobrevivencia de *Moina macrocopa* al ser expuesto a concentraciones ambientalmente relevantes de triclosán en el medio.

M. macrocopa es un organismo del zooplankton que ha sido utilizado para realizar bioensayos de ecotoxicología con otro tipo de contaminantes, debido a que es una especie que es abundante en cuerpos de agua de México, por lo que es considerada una especie representativa.

Por tal razón, este tipo de estudios son de gran relevancia para determinar los posibles efectos que tiene estos contaminantes emergentes sobre especies acuáticas representativas, presentes en sistemas acuáticos.

Por otra parte, los ésteres de ftalato, como el ftalato de dibutilo, han sido utilizados ampliamente como plastificantes para polímeros, a pesar de su acción como disruptores endocrinos químicos e incluso con el conocimiento sobre su grave impacto en la salud humana [20].

El ftalato de dibutilo ha sido de los plastificantes para polímeros más frecuentemente reportado, y ha sido detectado en una variedad de fuentes de agua y sedimentos [21]. Algunos estudios han reportado su presencia en

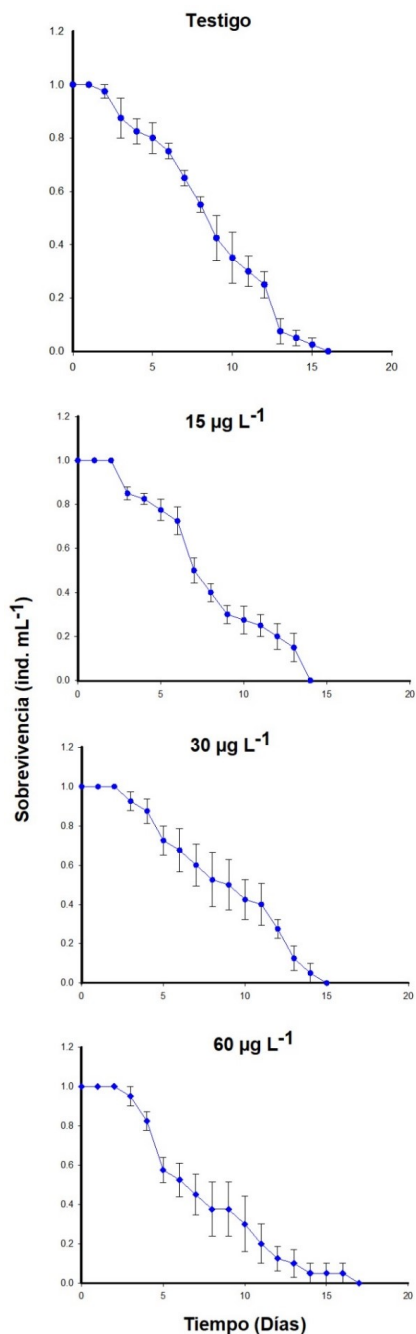


Figura 1: Sobrevivencia de *Moina macrocopa* al ser expuesto a concentraciones subletales de triclosán en el medio

cuerpos de agua de hasta 3.6 mg L⁻¹ [22], por lo que las concentraciones utilizadas en el presente trabajo con *M. macrocopa* son sumamente relevantes debido a las bajas magnitudes usadas (µg L⁻¹).

Los datos obtenidos en este estudio, mostraron un efecto adverso en la sobrevivencia del cladóceros, en la concentración más elevada de ftalato de dibutilo, este mismo efecto se puede observar por autores como Shen et al.

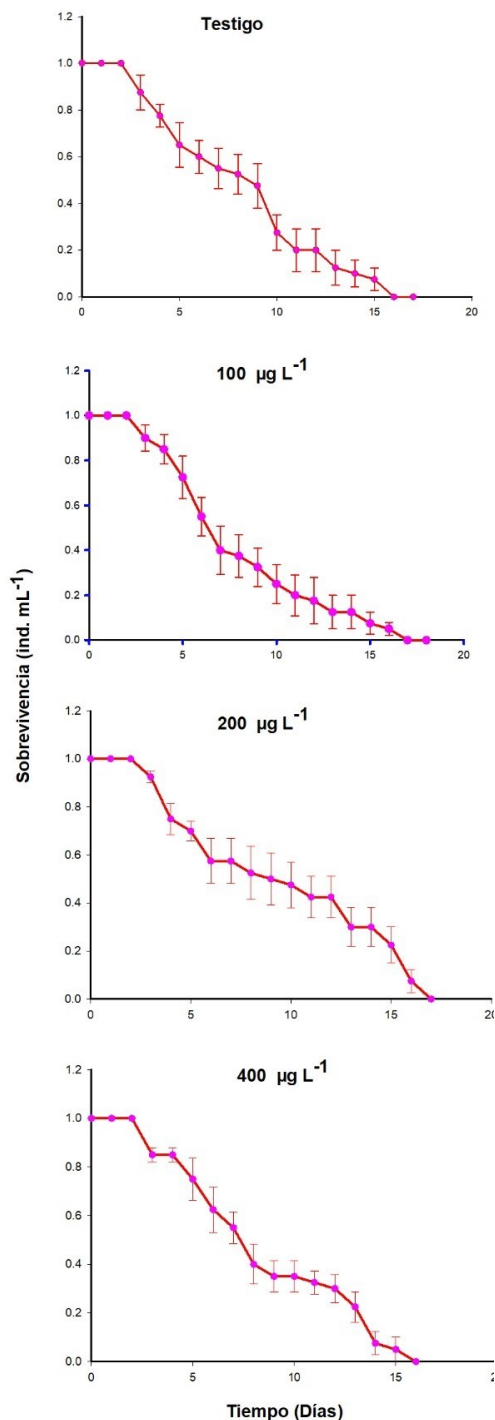


Figura 2: Sobrevivencia de *Moina macrocopa* al ser expuesto a concentraciones subletales de ftalato de dibutilo en el medio

[20], en donde expuso de manera aguda a otro cladóceros (*Daphnia magna*) a concentraciones elevadas (mg L⁻¹) del plastificante.

Por lo que, al ser un ingrediente activo altamente usado en la industria de la fabricación de polímeros convencionales, es importante no solo monitorear la presencia de ftalato de dibutilo en ambientes acuáticos, sino también realizar ensayos ecotoxicológicos en donde se puede determinar posibles efectos en otras especies, que desafortunadamente están siendo expuestas al contaminante de manera continua.

Es preciso que al realizar este tipo de estudios ecotoxicológicos, se tomen en cuenta la mayor cantidad de parámetros poblacionales debido que de esta manera se generarán datos más precisos sobre la exposición de contaminantes emergentes sobre organismos no objetivo.

V. Conclusiones

De acuerdo con los datos obtenidos, se puede concluir que existe un efecto adverso gracias a la presencia de los contaminantes emergentes, triclosán y ftalato de dibutilo sobre la sobrevivencia de *Moina macrocopa*. El cladótero, al ser un organismo cosmopolita en diferentes cuerpos de agua a nivel nacional, se puede inferir el impacto negativo que puede llegar a tener sobre las poblaciones en ambientes naturales.

Se sugiere tomar en cuenta más parámetros poblacionales al exponer a este tipo de microorganismos a la presencia de estos contaminantes emergentes para conocer ampliamente su efecto. En el futuro cercano es de suma importancia que las autoridades correspondientes consideren la presencia y descarga de contaminantes emergentes como triclosán y ftalato de dibutilo en aguas nacionales derivado de su frecuente detección en aguas, así como su alta demanda en el mercado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los técnicos (Ing. Brandon Daniel García Pérez e Ing. Carlos Alberto Hernández Duarte) del laboratorio de Tecnología Ambiental de la Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana del Valle de México. BKGPA agradece el apoyo de PRODEP Nuevo PTC.

Referencias

- [1] Brenda Karen González-Pérez et al. «Multigenerational effects of triclosan on the demography of *Plationus patulus* and *Brachionus havanaensis* (ROTIFERA)». En: *Ecotoxicology and Environmental Safety* 147 (2018), págs. 275-282.
- [2] Louis J Guillette Jr et al. «Organization versus activation: the role of endocrine-disrupting contaminants (EDCs) during embryonic development in wildlife.» En: *Environmental health perspectives* 103.suppl 7 (1995), págs. 157-164.
- [3] René P Schwarzenbach et al. «Global water pollution and human health». En: *Annual review of environment and resources* 35.1 (2010), págs. 109-136.
- [4] AD Russell. «Whither triclosan?» En: *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 53.5 (2004), págs. 693-695.
- [5] Heinz Singer et al. «Triclosan: occurrence and fate of a widely used biocide in the aquatic environment: field measurements in wastewater treatment plants, surface waters, and lake sediments». En: *Environmental science & technology* 36.23 (2002), págs. 4998-5004.
- [6] Drew C McAvoy et al. «Measurement of triclosan in wastewater treatment systems». En: *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 21.7 (2002), págs. 1323-1329.
- [7] Darius Sabaliunas et al. «Environmental fate of triclosan in the River Aire Basin, UK». En: *Water research* 37.13 (2003), págs. 3145-3154.
- [8] Santiago Esplugas et al. «Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents». En: *Journal of hazardous materials* 149.3 (2007), págs. 631-642.
- [9] David R Orvos et al. «Aquatic toxicity of triclosan». En: *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 21.7 (2002), págs. 1338-1349.
- [10] Douglas E Latch et al. «Photochemical conversion of triclosan to 2, 8-dichlorodibenzo-p-dioxin in aqueous solution». En: *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 158.1 (2003), págs. 63-66.
- [11] John M Brausch y Gary M Rand. «A review of personal care products in the aquatic environment: environmental concentrations and toxicity». En: *Chemosphere* 82.11 (2011), págs. 1518-1532.
- [12] US EPA. *Acerca de los contaminantes peligrosos del aire del aqs - calidad del aire fronterizo | CICA | US EPA*. URL: https://www3.epa.gov/ttnecat1/cica/help/haqshaps_s.html.
- [13] Christian G Daughton y Thomas A Ternes. «Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?» En: *Environmental health perspectives* 107.suppl 6 (1999), págs. 907-938.

- [14] Patrick K Jjemba. «Excretion and ecotoxicity of pharmaceutical and personal care products in the environment». En: *Ecotoxicology and environmental safety* 63.1 (2006), págs. 113-130.
- [15] Virginia L Cunningham, Stephen P Binks y Michael J Olson. «Human health risk assessment from the presence of human pharmaceuticals in the aquatic environment». En: *Regulatory toxicology and pharmacology* 53.1 (2009), págs. 39-45.
- [16] Araceli Peña-Álvarez y Alejandra Castillo-Alanís. «Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM)». En: *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 18.1 (2015), págs. 29-42.
- [17] Lilan Zhang, Junfeng Niu y Yujuan Wang. «Full life-cycle toxicity assessment on triclosan using rotifer *Brachionus calyciflorus*». En: *Ecotoxicology and Environmental Safety* 127 (2016), págs. 30-35.
- [18] E Díaz-Torres et al. «Endocrine disruptors in the Xochimilco wetland, Mexico City». En: *Water, Air, & Soil Pollution* 224.6 (2013), págs. 1-11.
- [19] Diana A Martinez Gomez, Sarah Baca y Elizabeth J Walsh. «Lethal and sublethal effects of selected PPCPs on the freshwater rotifer, *Platyonus patulus*». En: *Environmental toxicology and chemistry* 34.4 (2015), págs. 913-922.
- [20] Chenchen Shen et al. «Acute toxicity and responses of antioxidant systems to dibutyl phthalate in neonate and adult *Daphnia magna*». En: *PeerJ* 7 (2019), e6584.
- [21] GL Huang, HW Sun y ZH Song. «Interactions between dibutyl phthalate and aquatic organisms». En: *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 63.6 (1999), págs. 759-765.
- [22] Feng Zeng et al. «Seasonal distribution of phthalate esters in surface water of the urban lakes in the subtropical city, Guangzhou, China». En: *Journal of Hazardous Materials* 169.1-3 (2009), págs. 719-725.

Control system for artificial LED lighting in basil germination

Sistema de Control para iluminación artificial LED en la germinación de albahaca

Víctor Arturo Maldonado Ruelas^{*1}, Daniela Paola López Betancur¹, Raúl Arturo Ortiz Medina¹, Sathish Kumar Kamaraj², and Jairo David Hernández Alcalá¹

¹Universidad Politécnica de Aguascalientes (UPA), Departamento de Posgrado e Investigación, Av. Paseo San Gerardo 207, Fracc. San Gerardo, Aguascalientes, Ags. México, 20342.

{victor.maldonado,daniela.lopez,raul.ortiz}@upa.edu.mx, up170267@alumnos.upa.edu.mx

²Instituto Tecnológico El Llano (ITEL),

Carretera Ags.-S.L.P. km 18, El Llano, Ags. México, 20330.

sathish.bot@gmail.com

Abstract

The present work has as objective, the development and construction of an artificial lighting control system by means of RGB (Red, Green and Blue) reflectors of 20 Watts of power. The application of the system will be used for the germination of basil plants under different color and light intensity scenarios. The structure of the system allows growth at 3 different levels and allows the placement of a germination tray with up to 50 cavities. Each level will have a lighting control and LED light intensity; as well as temperature control and monitoring to ensure the germination of the basil plant. The results present a control and monitoring of the system, which operates with a Digital Signal Platform (DSP), through visual and interactive interface; as well as online data acquisition to generate a database of variables of interest.

Keywords— Control System, Led lighting, DSP

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo y construcción de un sistema de control de iluminación artificial por medio de reflectores RGB (Red, Green and Blue) de 20 Watts de potencia. La aplicación del sistema se utilizará para la germinación de plantas de albahaca bajo diferentes escenarios de color e intensidad de luz. La estructura del sistema permite

el crecimiento en 3 diferentes niveles y permite colocar una charola de germinación de hasta 50 cavidades. Cada nivel tendrá un control de iluminación e intensidad de luz LED; así como un control y monitoreo de temperatura para asegurar la germinación de la planta de albahaca. Los resultados presentan un control y monitoreo del sistema, que opera con una plataforma digital de señales (DSP), a través de una interfaz visual e interactiva; así como, la adquisición de datos en línea para generar una base de datos de las variables de interés.

Palabras clave— Sistema de Control, iluminación LED, DSP

I. Introducción

Los sistemas comerciales actuales de control en iluminación artificial, para aplicaciones de germinación de plantas, se utilizan para mantener un tipo de intensidad de luz y/o modificar por medio de aplicaciones en aparatos móviles; sin llevar algún tipo de registro y/o control de alguna otra variable de interés; así mismo son dependientes de una conexión a red y de la aplicación misma.

Sin embargo, en investigaciones de este tipo de sistemas de control en intensidad de iluminación, muestran que el sistema puede mejorar la calidad del producto de la especie que se tenga [1, 2]; otro trabajo, muestra que la germinación bajo luz LED tiene mayor crecimiento con respecto a la luz natural [3]. Algunos otros trabajos presentan sistemas de control en iluminación LED

* Autor de correspondencia

adaptables al ciclo de crecimiento de las plantas y las necesidades del usuario [4, 5]; la tendencia de este tipo de sistemas es poder llegar a crear fábricas de plantas con sistemas inteligentes con luz artificial LED [6]. Algunos otros trabajos presentan el efecto de los diferentes colores en el crecimiento de cierto cultivo [7, 8]. Sin embargo, en la mayoría de los trabajos que se presenta, el caso de estudio varía las condiciones ambientales donde se desarrolla; y una variable importante a tomar en cuenta en la germinación de la planta es la temperatura ambiente y el efecto que tiene [9, 10].

Debido a lo anterior, la estructura del sistema a trabajar, debe contar con un control continuo de la intensidad de luz, así como del color que se desea. Esto último debe manejarse en lapsos de manera autónoma, además de controlar la temperatura óptima de germinación de la albahaca, que está entre los 28 y 32 grados centígrados.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II se describe la estructura y hardware que se emplea para el sistema de control; así como la selección de los materiales, sensores y actuadores. En la Sección III se detalla la programación del DSP con la interfaz local y la integración del sistema completa. En la Sección IV se presentan los resultados obtenidos y las pruebas de operación del sistema. Finalmente, en la Sección V se presentan las conclusiones de las pruebas realizadas.

II. Diseño de la Estructura y el Hardware del Sistema

II.1. Estructura física del anaquel

La elaboración del anaquel es requerida para crear un ambiente controlado en cada nivel; sellados con paredes de unicel y una por medio de tela blanca (para manipular internamente la charola de crecimiento). Se utilizan ventiladores de corriente directa de 20×20 cm para generar un flujo de aire y disminuir la temperatura interna y no comprometa la germinación de la planta.

La estructura del anaquel tiene medidas de 84.5×45.5 cm y una altura de 179 cm; es armable y permite poder moverlo a diferentes espacios que mejor convengan con el clima exterior. Cada nivel del anaquel tiene 41.5 cm de altura, el cual considera la base de la charola de germinación, la charola propiamente y 4 reflectores que abarcan el espacio de la charola de crecimiento. En la Figura 1 se presenta la estructura del anaquel.

II.2. Control de Iluminación

Cada reflector se maneja de manera independiente en cada nivel, para poder hacer diferentes mezclas de colores a diferentes intensidades. Para lograr este punto fue necesario realizar para cada reflector un soporte y el diseño de una tarjeta para transmitir en infrarrojo el



Figura 1: Anaquel para la germinación de albahaca

cambio de color e intensidad del mismo. La Figura 2 presenta el diseño y construcción del mismo.

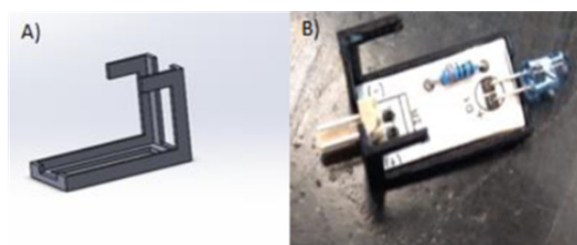


Figura 2: A) Diseño del soporte para LED IR, B) Tarjeta de Control

El protocolo de comunicación el cual se basa, del DSP a la tarjeta de control IR es el NEC; el cual tiene las siguientes características [11]:

- Longitud de dirección de 8 bits
- Longitud de comando y dirección se duplican por seguridad
- Frecuencia de portadora de 38 KHz
- Tiempo de bit de 1.125 o 2.25 ms

Con este protocolo se manda el bit menos significativo (LSB, por sus siglas en inglés) hasta el bit más significativo

(MSB, por sus siglas en inglés) de una cadena de 8 bits y se repite 4 veces para formar una cadena de 32 bits. Para iniciar una cadena es importante poner un bit de encendido con una duración de 9 ms y posteriormente un bit de apagado de 4.5 ms, seguido de la cadena de datos de 32 bits. La Tabla 1 presenta los valores decodificados en Hexadecimal de los diferentes colores a utilizar, el aumento y disminución de la intensidad y el apagado del módulo IR.

Tabla 1: Decodificación para cada reflector

Color	Código
Rojo	0x00F720DF
Verde	0x00F7A05F
Azul	0x00F7609F
Blanco	0x00F7E01F
Intensidad(++)	0x00F700FF
Intensidad(−)	0x00F7807F
Apagado	0x00F740BF

II.3. Control de Temperatura

Para la medición de temperatura se utilizó un sensor digital DHT11, el cual se comunica con el DSP por medio de un protocolo de comunicación *one wire*, que inicializa con una transición negativa (cambio de 1 a 0 lógico) y posteriormente una transición positiva (cambio de 0 a 1 lógico) para inicializar la lectura de información del sensor; una vez que concluya se revisa el bit de paridad para validar la información del sensor.

Para el accionamiento de control con los ventiladores, se hicieron pruebas de consumo de corriente por pares (un ventilador para ingresar aire, otro para sacar el aire); cada uno tiene una alimentación de 12V; por lo cual se diseñó y construyó una fuente por cada par de ventiladores o por nivel de anaquel. La Figura 3 presenta la tarjeta construida de la fuente de poder por nivel.

La activación de cada ventilador por parte del DSP será por medio de un relevador mecánico de 5V de bobina y contactos de hasta 10A.

III. Interfaz interactiva y desarrollo de Software

III.1. Desarrollo del software de interacción

Para la interacción física con el usuario y visualizar la información de cada nivel, se realiza un programa que sea lo más simple de manejar con el usuario, que permita variar tiempos de encendido, color por reflector e intensidad. Así mismo, se utiliza una pantalla LCD de 16×2 para poder ver por nivel la información del sistema de control de iluminación y de temperatura. Las variables



Figura 3: Fuente de Voltaje de $2 \times 12V$

que se tendrán en la interfaz y que se programarán en el software son las siguientes:

- Canal: a partir de esta variable, se accede a la medición de: humedad, temperatura e intensidad de cada nivel; así como el reloj.
- Clock: con esta variable se puede acceder al reloj en tiempo continuo con hora y minutos.
- Color: con esta variable se puede seleccionar: color en cada reflector, hora de encendido, hora de apagado, así como el porcentaje de intensidad.
- Ok: con esta variable se confirmará la selección de cada operación en cada nivel.
- (++): esta variable permite incrementar ciertos valores como las horas y minutos en el reloj, así como el porcentaje de intensidad. Esta variable regresa a su valor inicial al pasar el límite permitido.
- Reset: este tiene la función de reiniciar cada una de las variables y poder reiniciar la selección del sistema.

La Figura 4 presenta un esquema en general del funcionamiento del software programado en el DSP.

III.2. Interfaz Interactiva

El diseño de la interfaz interactiva se realiza a manera de carátula impresa en un tipo de plástico PLA, por sus siglas en inglés, por medio de una impresora 3D; se realiza el modelo contemplando un botón digital para cada una de las variables a manipular y el espacio de la LCD para visualizar la información. La Figura 5 muestra el diseño y construcción de la carátula del sistema.

Finalmente, se integran todos los demás sistemas con la interfaz, como lo son las fuentes de poder y alimentación de cada circuito electrónico, las tarjetas de potencias para los ventiladores, las tarjetas de adquisición en la medición de temperatura, las tarjetas de comunicación IR para el encendido de los reflectores RGB, la conexión con

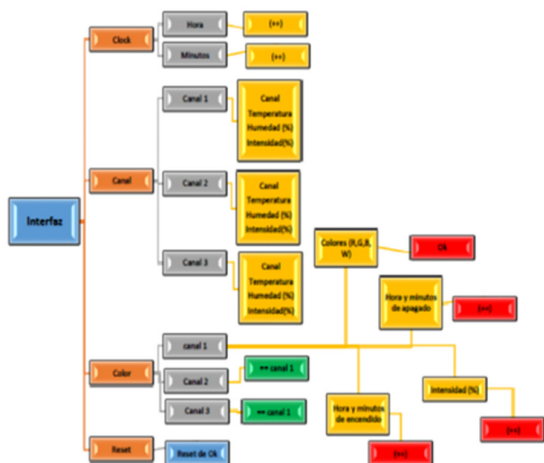


Figura 4: Diagrama del funcionamiento del Software

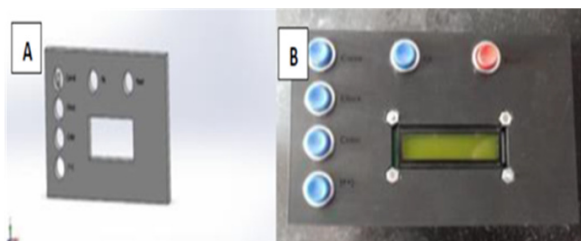


Figura 5: A) Diseño de la carátula, B) Implementación Física

la tarjeta del DSP 30F4011 de la familia de microchip. La Figura 6 presenta la conexión con la interfaz interactiva de lo anterior mencionado.

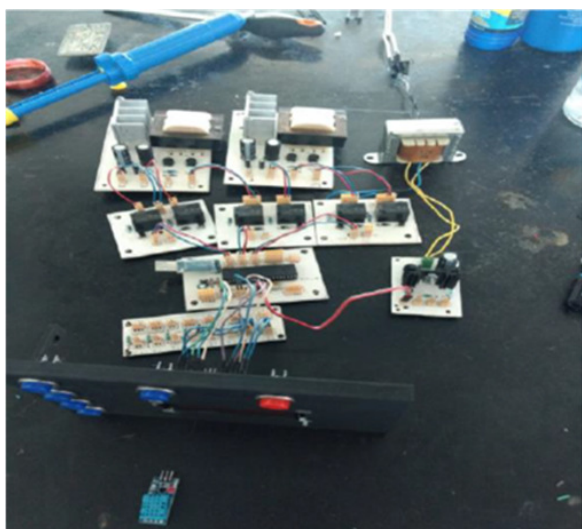


Figura 6: Sistema integrado

IV. Resultados

Una vez ensamblado el anaquel completo, se realizaron las pruebas de operación de control de iluminación de luz LED con variación de color e intensidad de la misma. La Figura 7 presenta el anaquel completo con variación de color en cada nivel.



Figura 7: Anaquel ensamblado

También se caracterizó cada reflector RGB, midiendo su flujo fotónico en cada uno de los niveles de tal manera que cada uno de los espacios de las charolas se distribuyera $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ con luz blanca al 100 % aproximadamente. La Tabla 2 presenta el estudio fotónico en uno de los niveles para diferentes colores de luz LED e intensidad de los mismos.

Tabla 2: Flujo fotónico por intensidad de nivel

Porcentaje Intensidad	Flujo Fotónico $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$			
	Blanco	Rojo	Verde	Azul
100 %	159	153	86	165
87 %	152	141	73	145
74 %	149	137	70	140
61 %	142	126	65	131
48 %	130	100	52	102
35 %	90	69	34	66
22 %	44	33	15	29
9 %	20	14	5	9

El sistema también se probó con tiempos de encendido y apagado de las diferentes variables en cada nivel. También se comprobó que el sistema fuera autónomo y

continuo en el tiempo. Debido a que el medio donde se desarrolló es un laboratorio con ambiente externo de clima ambiental, sin variaciones extremas de temperatura; el sistema operó bien para el control de temperatura.

El registro de la temperatura por nivel se realiza por medio del DSP con la conexión a un ordenador fijo (Computadora personal), y se puede obtener de manera continua y medir en rangos de tiempos deseables. La Figura 8 presenta los registros de temperatura de los tres niveles en un día de medición.

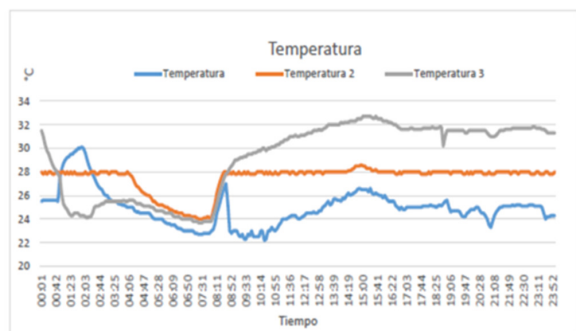


Figura 8: Registro continuo de la temperatura en los 3 niveles del anaquel

En la gráfica se aprecia que los rangos de cada nivel están entre los 22 y 32 grados centígrados, lo que cumple para el desarrollo de la germinación de la albahaca. La variación que existe entre los niveles se debe a que el nivel 1 y 2 están a la altura de la ventana exterior y el nivel 3 está por debajo de la ventana al exterior. Sin embargo, con el control de temperatura se logra mantener el rango deseado de germinación.

También se probó la interfaz interactiva de manera local con la información mencionada en la sección anterior. La Figura 9 muestra el funcionamiento de la interfaz, las conexiones y la información que se muestra en la LCD.

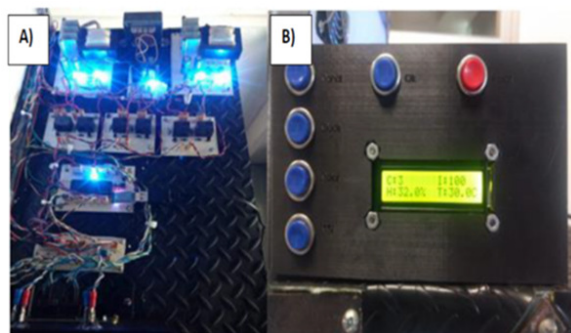


Figura 9: A) Circuito integrado del sistema en operación, B) Carátula de la interfaz en operación

Por último, para validar que el sistema podría cumplir con la germinación de la albahaca con iluminación

LED artificial bajo diferentes condiciones, se realizaron pruebas de funcionamiento con un mes de operación, bajo condiciones de luz continua a un solo color por nivel y apagado en cada nivel pero en diferentes tiempos de configuración. La Figura 10 presenta los resultados obtenidos de las charolas de crecimiento en dos diferentes etapas de crecimiento.

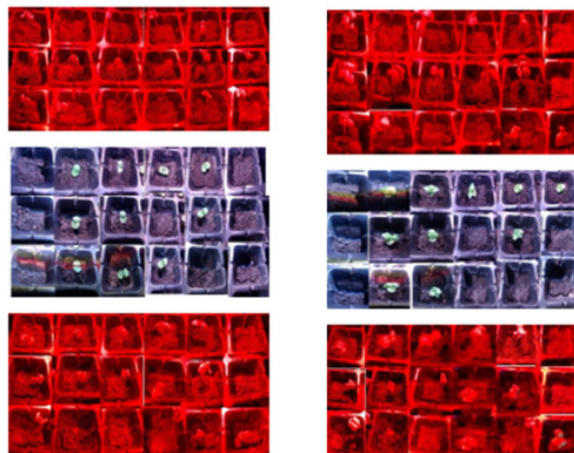


Figura 10: Crecimiento de la albahaca con el sistema de control del anaquel

La fila de la izquierda representa las 3 charolas de crecimiento en los diferentes niveles a 15 días de crecimiento; la fila de la derecha muestra las charolas que tienen un crecimiento de 30 días. El primer nivel tiene una mezcla de luz con rojo al 80 % y blanco al 20 % de sus intensidades; el segundo nivel tiene blanco al 100 % y el último nivel está rojo al 100 %. La diferencia de crecimiento y características en la germinación de albahaca en cada nivel, se presentarán en otro trabajo.

V. Conclusiones

El contar con un sistema de control de iluminación LED de intensidad y color completamente autónomo y de regulación y monitoreo de temperatura, permite que las pruebas de crecimiento artificial de plantas, en este caso de albahaca, sean más confiables y que se puedan programar diferentes recetas de iluminación para medir el crecimiento de germinación y las diferencias que existen con respecto a otras estructuras de iluminación y color.

La interfaz diseñada permite que el control sea amigable con el usuario y se adapte a las necesidades de este o a las necesidades de la planta. El contar con el historial que guarda el sistema permite caracterizar el crecimiento de germinación bajo ciertas condiciones y encontrar cual es la opción más óptima del sistema.

Referencias

- [1] Lijun Liang, Huijuan Tian y Pingfan Ning. «Artificial light LED planting system design». En: *2017 14th China International Forum on Solid State Lighting: International Forum on Wide Bandgap Semiconductors China (SSLChina: IFWS)*. IEEE. 2017, págs. 88-90.
- [2] Ellen De Keyser et al. «LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants». En: *Scientia horticulturae* 253 (2019), págs. 270-275.
- [3] Pirapong Limprasitwong y Chaiyapon Thongchaisuratkrul. «Plant growth using automatic control system under LED, grow, and natural light». En: *2018 5th International Conference on Advanced Informatics: Concept Theory and Applications (ICAICTA)*. IEEE. 2018, págs. 192-195.
- [4] Amber Marie V Pagarigan y Meo Vincent Caya. «Development of LED light compensation system for agricultural application». En: *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNI-CEM)*. IEEE. 2018, págs. 1-6.
- [5] Wei-Chieh Tai et al. «Development of a multi-parameter plant growth monitoring and control system for quality agriculture application». En: *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*. IEEE. 2017, págs. 1130-1133.
- [6] Kuo-Fu Liao y Weng Ro-Min. «Implementation of the LED Light Source System as a Smart Plant Factory». En: *2021 IEEE International Future Energy Electronics Conference (IFEEC)*. IEEE. 2021, págs. 1-6.
- [7] Md Abdur Razzak et al. «Effects of supplementing green light to red and blue light on the growth and yield of lettuce in plant factories». En: *Scientia Horticulturae* 305 (2022), pág. 111429.
- [8] Xiaojiao Kang et al. «A novel blue-light excitable Pr³⁺ doped (Sr, Ba) LaMgTaO₆ phosphor for plant growth lighting». En: *Journal of Rare Earths* (2022).
- [9] Mirai Endo Naoya Fukuda, Hideo Yoshida y Miyako Kusano. «Effects of light quality, photoperiod, CO₂ concentration, and air temperature on chlorogenic acid and rutin accumulation in young lettuce plants». En: *Plant Physiology and Biochemistry* 186 (2022), págs. 290-298.
- [10] Hsin-Hung Lin et al. «Comparisons between yellow and green leaves of sweet potato cultivars in chlorophyll fluorescence during various temperature regimes under high light intensities». En: *Scientia Horticulturae* 288 (2021), pág. 110335.
- [11] Hernández López Billy. «Comunicación Infrarroja Control Remoto». Tesis de mtría. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, 2010.

Fault detection in photovoltaic panels of a solar farm

Detección de fallas en paneles fotovoltaicos de una granja solar

David Manuel Ramos-Sánchez¹, Joel Salome-Baylon^{*1}, Adrián Tintos-Gómez¹, and Juan Antonio Díaz-Gómez¹

¹ Universidad Tecnológica de Manzanillo, Energías Renovables,
Av. Paseo San Gerardo 207, Fracc. San Gerardo, Aguascalientes, Ags. México, 20342.
{david-ramos, joel-salome, adrian-tintos, juan-diaz}@utem.edu.mx

Abstract

The Photovoltaic systems have their maximum performance under optimal operating conditions, due to this, extensive research has been carried out on several techniques for detecting faults in solar panels. In this work, three of the fault identification methods are used: visual inspection, infrared thermography, and inverter output power analysis applied to a photovoltaic farm as a case study.

Keywords— Solar panel, fault identification, thermography

Resumen

Los sistemas fotovoltaicos tienen su máximo rendimiento bajo condiciones de funcionamiento óptimo, debido a esto se ha desarrollado amplia investigación sobre distintas técnicas de detección de fallas en paneles solares. En este trabajo se utilizan tres de los métodos de identificación de fallas: inspección visual, termografía infrarroja y análisis de potencia de salida de inversores aplicados a una granja fotovoltaica como caso de estudio.

Palabras clave— Panel solar, identificación fallas, termografía

I. Introducción

Con la creciente demanda de fuentes de energía renovables, el uso de sistemas de energía solar está creciendo rápidamente y es cada vez más importante. Como resultado, la industria fotovoltaica ha realizado esfuerzos considerables para reducir el costo de la energía fotovoltaica. Esto depende del costo de fabricación del sistema, su eficiencia y su vida útil.

* Autor de correspondencia

En este sentido, la durabilidad de los paneles fotovoltaicos (PV, por sus siglas en inglés) es un aspecto clave para la viabilidad económica. Los fabricantes dan garantías de buen rendimiento a la energía fotovoltaica de 20 a 25 años basándose únicamente en pruebas de certificación de calidad y no en pruebas que evalúen su fiabilidad a largo plazo [1], por ello se ha observado que PV certificados fallan en campo antes de lo estimado. Estas fallas pueden ocurrir durante la fabricación, el transporte, el montaje y la operación. Las fallas deben detectarse en la instalación y los sistemas deben revisarse periódicamente durante su funcionamiento, para proteger los componentes contra daños y reducir los riesgos.

II. Causas de reducción del rendimiento y fallas fotovoltaicas

II.1. Tecnología fotovoltaica

La configuración más común de los PV se muestra en la Figura 1, donde se muestra que está compuesto por una cubierta frontal de vidrio, encapsulante EVA (Etileno Vinil Acetato), celdas solares interconectadas, encapsulante, hoja posterior, caja de interconexiones y en el caso de la tecnología de silicio (Si) un marco de aluminio. Para los de película delgada el marco de aluminio no es necesario.

La Tabla 1 proporciona un resumen de las principales tecnologías fotovoltaicas. Se observa que la mayoría de las tecnologías tienen una buena vida útil al aire libre. Esta propiedad, en combinación con la economía de escala, provoca que se pueda generar electricidad a un nivel de costo muy competitivo.

II.2. Causas de degradación de paneles

La vida útil de los PV es afectada por diversos efectos externos donde fueron instalados. Por lo cual es necesario

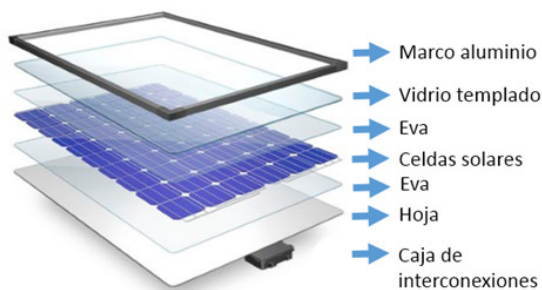


Figura 1: Configuración más común de los módulos fotovoltaicos [2]

Tabla 1: Comparación de tecnologías fotovoltaicas [2]

Tecnología	% Mercado 2020	% eficiencia	Tiempo de vida años
Silicio Monocristalino	66	26.7	>20
Silicio Policristalino	28.4	24.4	>20
Telururo de cadmio (CdTe)	4.1	22.1	>20
Seleniuro de galio, indio y cobre (CIGS)	0.8	23.4	>20
Silicio Amorfo	0.1	14.0	>20
Celdas solares por colorante	-	12.3	<2
Celdas orgánicas	-	17.5	2
Celdas Perovskita	-	25.5	<.5

establecer la severidad de las condiciones para cada escenario específico. Algunos de estos factores se muestran en la Tabla 2.

II.3. Fallas de PV

Los equipos solares fotovoltaicos están diseñados para un funcionamiento seguro durante toda la vida útil del producto. A pesar de ello, se producen defectos de fabricación y defectos prematuros que pueden afectar el rendimiento de manera considerable. Las técnicas de producción en masa y un control de baja calidad pueden introducir defectos de fabricación en las celdas y los paneles. El transporte y la instalación pueden provocar daños. En las tablas 3 - 5 se muestran las principales fallas.

Tabla 2: Causas de degradación de paneles [2]

Causa	Descripción
Irradiancia	Aunque la región de ultravioleta (280-400nm) corresponde solo al 4.6 % de $1000 W/m^2$, sus fotones son los más perjudiciales para los materiales poliméricos, provocando que se vuelva frágil y se decolore.
Temperatura	Puede afectar el rendimiento eléctrico, acelera la difusión y velocidad de reacción en los materiales. También induce estrés mecánico, debido a las diferencias en los coeficientes de expansión térmica de las piezas del panel, provocando deformaciones, fatiga, delaminación y en algunos casos agrietamiento de las celdas.
Humedad	Puede deteriorar las uniones adhesivas, resultando delaminación, pérdida de pasivación y revestimientos, lo cual conduce a la corrosión de elementos metálicos.
Carga mecánica	Pueden surgir diversas tensiones mecánicas en los módulos fotovoltaicos debido a procesos de fabricación, transporte, manipulación durante la instalación, viento, granizo, nieve y cargas termomecánicas. Podrían producirse agrietamientos o fracturas.
Suciedad	Puede surgir de la acumulación de polvo, la contaminación del aire, microbios, crecimiento de algas y excrementos de pájaros en la superficie del panel. Los primeros pueden afectar el rendimiento del panel, pero el último además puede causar puntos calientes, ya que puede actuar como un sombreado parcial.
Productos químicos	Algunas especies químicas naturales o producidas industrialmente puede causar la corrosión de los módulos fotovoltaicos. Los más comunes son la niebla salina en áreas marinas (especialmente dañina en climas tropicales), el amoníaco en zonas rurales agrícolas y ácido sulfúrico y nítrico en zonas industriales. Estos factores de estrés pueden degradar varios componentes de los módulos fotovoltaicos, tales como láminas posteriores, selladores de bordes, cajas de conexiones, cableado y conectores

Tabla 3: Fallas de paneles parte 1 [3, 4]

Causa	Descripción
Vidrio roto	Se ha encontrado que representa hasta un tercio de las fallas en sitio de los PV, la ruptura puede ocurrir durante el transporte, la instalación y durante la operación debido a tensiones térmicas o mecánicas como: puntos calientes y cargas estáticas o dinámicas. Debido a esto ya no actúa como una barrera impermeable a la humedad o como aislante eléctrico, provocando degradación del encapsulante y otros componentes.
Fallo de interconexión entre las celdas	Las celdas solares se interconectan en serie con cintas de interconexión para obtener un voltaje más alto. Estas cintas son muy propensas a romperse por: una soldadura deficiente en el proceso de producción, una formación demasiado intensa durante la fabricación, el estrés físico durante el transporte del PV, ciclo térmico y puntos calientes por sombreado parcial. Cuando las láminas EVA reaccionan con la humedad, forman ácido acético que acelera el proceso de corrosión de los componentes del módulo fotovoltaico. Esto puede atacar a todos los contactos de plata y afectar la producción de la celda. Cuando se localiza un fallo en el EVA, también se ve afectado todo el encapsulante. Cuando se produce este fallo, la celda de silicio puede entrar en contacto con el aire. El oxígeno del aire dará lugar a la formación de dióxidos de silicio, produciéndose el efecto de la oxidación. Esto supone una decoloración, es decir, ese color marrón que aparece en las células.
Decoloración del encapsulante	

III. Detección de fallas

Muchas de las fallas de los PV se pueden identificar mediante una inspección visual. Esta inspección puede llevarse a cabo en el laboratorio, antes y después de las pruebas o durante la operación en campo [5, 6]. En la Tabla 6 se describen las fallas que comúnmente se revisan. La sola inspección no permite identificar algunas otras fallas o condiciones previas a la falla, para ello se puede recurrir a realizar una inspección termográfica, la cual

Tabla 4: Fallas de paneles parte 2 [3, 4]

Causa	Descripción
Delaminación	Consiste en la separación del encapsulante del vidrio o la celda. La delaminación del vidrio frontal puede ocurrir debido a una mala adherencia de EVA o procedimientos de limpieza de vidrio deficientes durante el proceso de fabricación. Este defecto puede evitar que algo de luz llegue al PV. El problema puede ser más grave si la humedad se acumula en el vacío y crea cortocircuitos cerca de los cables de soldadura. Este defecto puede ser grave porque cuando se crea una burbuja de aire en el laminado, existe la posibilidad de acumulación de humedad y generación de cortocircuitos. Un recubrimiento antirreflectante (AR) aumenta la captura de luz y, por lo tanto, aumenta la conversión de la potencia del módulo. La delaminación por AR ocurre cuando el recubrimiento antirreflectante sale de la superficie de silicio de la célula.
Agrietamiento celular	Las grietas en los PV pueden desarrollarse en diferentes etapas de su vida. Durante la fabricación la soldadura induce grandes tensiones en las celdas. El manejo y las vibraciones en el transporte pueden inducir o expandir grietas. Finalmente, también pueden generarse en el campo, ya que experimentan cargas mecánicas debido al viento (presión y vibraciones) y a la nieve (presión). Las grietas pueden traer consigo una pequeña reducción del rendimiento debido a las partes de la celda afectadas, pero también pueden suponer problemas graves, que implican una disminución de la corriente de cortocircuito y una caída sustancial en la eficiencia de la celda.
Caja de Conexiones	La caja de conexiones se define como un contenedor fijado en la parte posterior del PV. Generalmente contiene los diodos de derivación para proteger las celdas de una cadena en caso de que aparezcan puntos calientes o sombras. Las fallas más comunes son: mala fijación de la caja, cajas abiertas o mal cerradas, cableado deficiente que puede causar arcos de voltaje y problemas en los contactos de las interconexiones.

Tabla 5: Fallas de paneles parte 3 [3, 4]

Causa	Descripción
Defectos en la hoja posterior	La hoja posterior de un PV sirve tanto para proteger los componentes electrónicos de la exposición directa al medio ambiente, como para proporcionar un funcionamiento seguro en presencia de altos voltajes de corriente continua. Lo más común es encontrarse con una lámina posterior compuesta de una estructura laminada con un polímero altamente estable y resistente a los rayos ultravioleta UV. Este tipo de láminas ofrecen un buen comportamiento frente al calor, la humedad, el estrés mecánico. El problema es cuando se detecta una delaminación, ya que aumentará la temperatura al no disiparse el calor.
Puntos Calientes	Las causas que pueden dar lugar a puntos de calor son bastante variadas, desde defectos estructurales en la fabricación de los paneles solares (ej. conexiones mal soldadas, delaminación, defectos del material de la célula) a daños mecánicos fruto de un mal manejo o transporte (ej. Las microrroturas, marco metálico doblado, etc.). De especial interés resulta también el efecto negativo del sombreado permanente, que puede dar lugar también a puntos de calor al reducir la capacidad de las celdas sombreadas con respecto a las otras.
Degradación Inducida por Potencial (PID)	Conocido como degradación por potencial inducido, es una degradación debida a la presencia de corrientes parásitas en los mismos. Su efecto potencial puede hacer caer la potencia del equipo hasta en un 30%. La causa de estas corrientes es la presencia de diferencias de potencial entre el PV y la tierra. Esto hace que se generen unas corrientes de fuga entre las células del panel y el resto de los componentes.

nos brinda un análisis más detallado, no invasivo y al mismo tiempo económico.




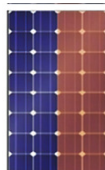
Hay muchas causas de fallas y fallas en los paneles fotovoltaicos que se pueden conocer de acuerdo con un patrón térmico como se muestra en las tablas 7 y 8 [7, 8].

Así también, el monitoreo en tiempo real de los sistemas fotovoltaicos de diferentes tamaños y aplicaciones es

Tabla 6: Identificación de fallas visualmente [5, 6]

Componente del PV	Falla en el PV
Frente del PV	Burbujas, delaminación, Amariamiento
Celdas	Celda rota, celda agrietada, delaminación del antirreflectante
Conexiones celdas	Quemada, oxidada
Marco aluminio	Doblado, roto, rayado, desalineado
Parte trasera del PV	Delaminación, burbujas, amariamiento, arañazos, quemaduras
Caja de conexiones	Suelta, oxidada, con corrosión
Cables - conectores	Desprendidos, frágiles, partes eléctricas expuestas

Tabla 7: Patrones de fallas fotovoltaicas mediante termografía parte 1 [7, 8]

Posible falla	Descripción	Patrón
Saludable	Sin fallas	
Circuito abierto	Todo el PV parece más caliente que otros. Nota: Se requiere una medición eléctrica adicional para mostrar su capacidad de operación.	
Circuito abierto	Un área del PV se identifica más caliente.	
Cortocircuito o diodo de derivación	Una o más filas están más calientes que otras en el mismo PV.	

necesario para mantener su porcentaje de rendimiento. Este proporciona información sobre la producción redu-

Tabla 8: Patrones de fallas fotovoltaicas mediante termografía parte 2 [7, 8]

Posible falla	Descripción	Patrón
Corto-circuito o diodo de derivación	Algunas celdas separadas tienen diferentes temperaturas, también se conoce como patrón de mosaico.	
Derivaciones masivas	Algunas celdas separadas y las cercanas al marco son más cálidas que el resto del mismo PV. Eso puede ser causado por polarización o degradación inducida por potencial.	
Celda defectuosa, celda delaminada o completamente sombreada)	Una celda está más caliente que todo el panel.	
Sombra parcial	Calentamiento poco puntual.	
Celda rota	Parte de una celda está más caliente que la otra parte y todo el PV.	

esperados) o fallas puntuales, que pueden detectarse más fácilmente por una fuerte reducción en la potencia de salida del sistema, pero no son fáciles de localizar si el sistema es muy grande.

En este sentido se pueden proponer dos grupos principales de técnicas de monitoreo: el primero está orientado al cálculo “predictivo” de la energía que producirá el sistema y el segundo está enfocado a la detección rápida y en tiempo real de fallas, comparando señales medidas simultáneamente en diferentes partes del sistema, lo que puede considerarse como una monitorización de “correlación cruzada”.

En ambos casos, el propósito es brindar información a los usuarios del sistema para realizar un correcto procedimiento de mantenimiento y/o reparación con el fin de mantener el índice de desempeño lo más alto posible. La principal diferencia entre los métodos predictivo y de correlación cruzada es que el primero requiere la medición de parámetros ambientales, mientras que el segundo solo utiliza datos térmicos o eléctricos medidos en los módulos fotovoltaicos o inversores [9, 10, 11].

IV. Inspección de granja fotovoltaica

La granja fotovoltaica inspeccionada se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Manzanillo la cual se localiza a 19°08'22.2" N 104°18'57.5" W. Está constituida por 700 paneles de 390 Wp modelo JAM72S09 -390/PR, 88 paneles de 445 Wp modelo JAM78S10 -445/PR y 4 inversores de 62 kW modelo Sunny Tripower CORE1 62-US, cada inversor tiene conectado 78 kW de potencia en su entrada, pudiéndose conectar hasta un máximo de 93.7 kW, obteniéndose un sobredimensionamiento del 125 % de la potencia pico de los paneles con respecto a la potencia nominal del inversor, para compensar las pérdidas eléctricas de la instalación. El inicio de operación de la granja fotovoltaica se da el 21 de mayo del 2021, mientras que la inspección tuvo lugar el 19 de marzo del 2022 y fue realizada por profesores de tiempo completo y 10 estudiantes de 5to cuatrimestre de la carrera de energías renovables. La distribución del sistema se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Distribución de granja fotovoltaica

cida (reducciones ligeras en comparación con los valores

IV.1. Inspección visual

Los puntos que se observan en la revisión como deficiencias se muestran a continuación.

Una estructura se encuentra vencida lo cual hace que los paneles no estén alineados (ver Figura 3).



Figura 3: Estructura desalineada

Se identifica que el edificio contiguo proyecta sombra en una parte de la instalación fotovoltaica (ver Figura 4).

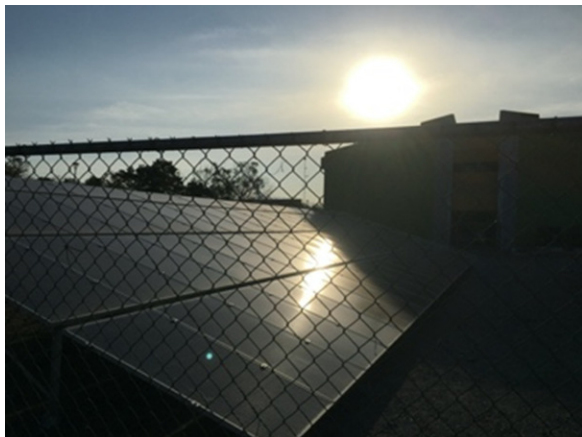


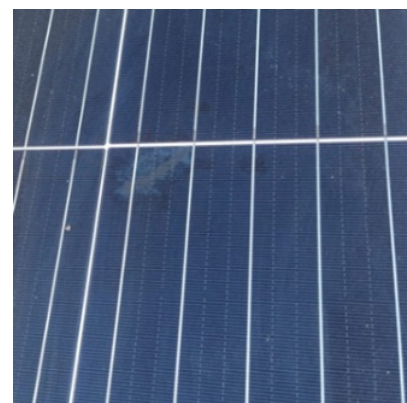
Figura 4: Sombra del edificio

Se observan varias sombras de la malla ciclónica proyectadas sobre los paneles (ver Figura 5).

Se descubren varios paneles con delaminación de anti-reflectante (ver Figura 6).



Figura 5: Sombra de malla



(a)



(b)

Figura 6: Delaminación de anti-reflectante

IV.2. Inspección termográfica

Para la prueba de inspección con cámara termográfica se utiliza la cámara FLIR-I7. Se detectan algunos paneles con patrones de falla como delaminación, puntos calientes y falla de diodo, estas se muestran en las figuras 6-13



Figura 7: Delaminación de panel

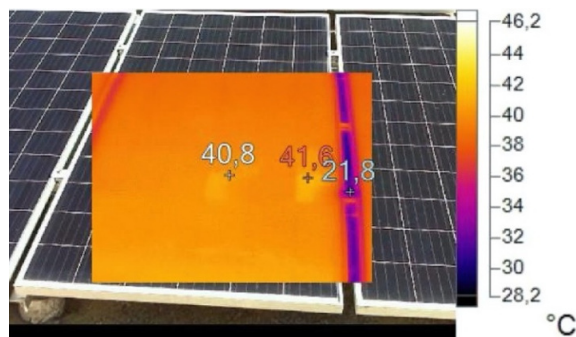


Figura 11: Delaminación, celda ligeramente calentada

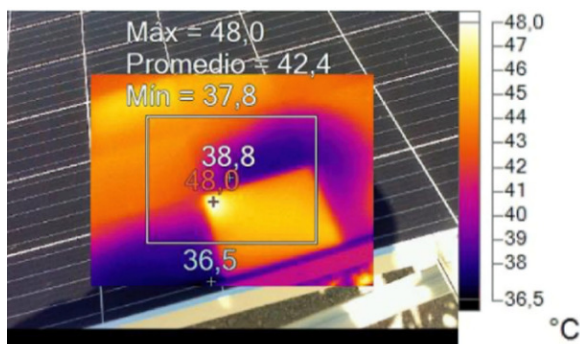


Figura 8: Puntos calientes

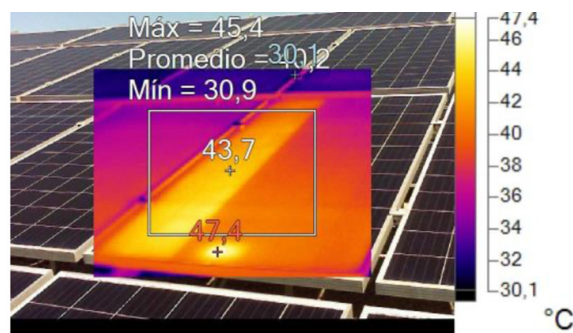


Figura 12: Diodo defectuoso

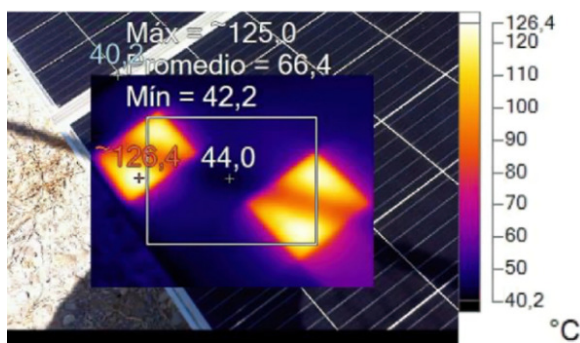


Figura 9: Puntos calientes por malla

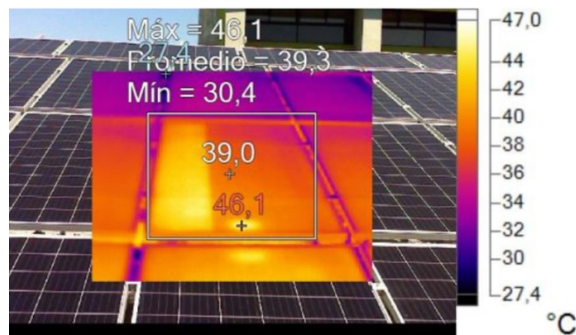


Figura 13: Diodo defectuoso

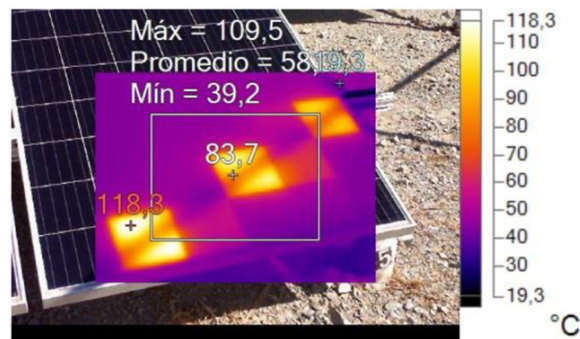


Figura 10: Puntos calientes por malla

IV.3. Monitoreo

Los inversores cuentan con un sistema de monitoreo, de donde se extraen los datos que se grafican en las figuras 14-17. En las figuras 14 y 15 se muestra la potencia de salida de los inversores cada 15 minutos, se observa que en las primeras horas del día, el inversor 1 tiene menor producción que los otros 3 inversores, esto es porque el edificio contiguo proyecta sombra sobre esos paneles. Cuando no existen sombras la producción en los 4 inversores es similar

En la Figura 16 se muestra la producción de energía por día. Se despliegan los datos del mes de febrero del 2022, el inversor 1 sufre una desconexión el 1 de febrero, por lo cual tiene una menor producción que los inversores

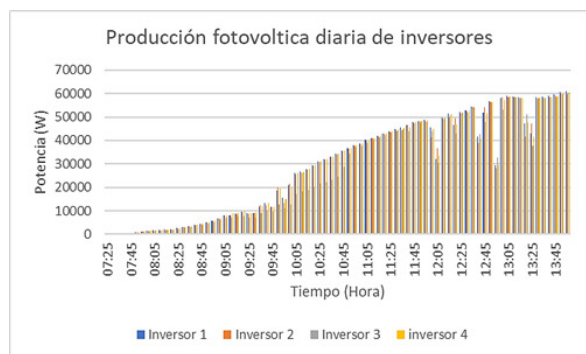


Figura 14: Producción fotovoltaica cada 15 minutos en inversores

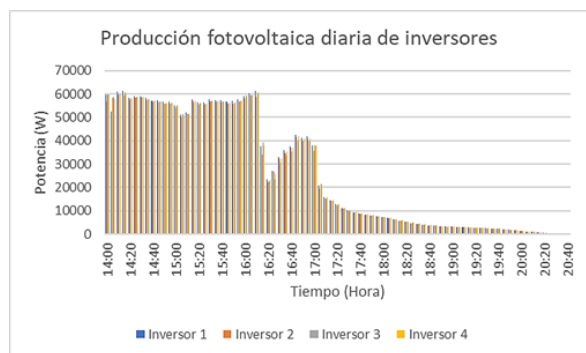


Figura 15: Producción fotovoltaica cada 15 minutos en inversores

restantes. Cuando no existe alguna falla la producción de energía en los 4 inversores es semejante.

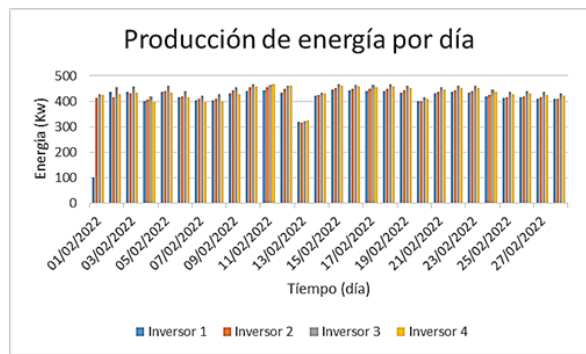


Figura 16: Producción de energía por día

En la Figura 17 se indica la producción de energía por mes. De septiembre 2021 a enero 2022 el inversor 1 es deshabilitado debido a una falla en una protección, por lo cual no cuenta con producción de energía. Cuando no existe alguna falla, la producción mensual de energía en los 4 inversores es semejante.

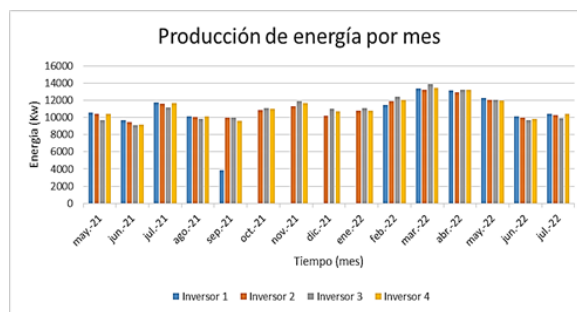


Figura 17: Producción de energía por mes

V. Resultados

De las inspecciones realizadas se obtienen 6 paneles con delaminación del antirreflectante, dos paneles con delaminación de celda, 4 paneles con puntos calientes por sombras y 2 paneles con diodo defectuoso.

VI. Conclusiones

Este artículo muestra 3 métodos de identificación de fallas en PV, donde el principal objetivo del estudio es identificar y proporcionar una colección de datos de degradación y modos de falla que ocurren en una granja solar, para ayudar a las empresas de instalación y fabricación a mejorar sus procesos.

Los resultados obtenidos (paneles con delaminación, puntos calientes y diodo defectuoso) concuerdan con otros estudios de campo expuestos en la literatura. Finalmente se puede concluir que la termografía es una técnica simple, económica, instantánea y fácil para la detección y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos.

Referencias

- [1] Georgios Goudelis, Pavlos I Lazaridis y Mahmoud Dhimish. «A review of models for photovoltaic crack and hotspot prediction». En: *Energies* 15.12 (2022), pág. 4303.
- [2] M Aghaei et al. «Review of degradation and failure phenomena in photovoltaic modules». En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 159 (2022), pág. 112160.
- [3] Juan Bautista Ramos Palenzuela et al. «Análisis de defectos en paneles solares de plantas fotovoltaicas mediante termografía y electroluminiscencia.» En: (2022).
- [4] Marc Kontges et al. «Review of failures of photovoltaic modules». En: *Report IEA-PVPS T13-01* (2014), págs. 1-140.

- [5] G Cipriani et al. «Application of thermographic techniques for the detection of failures on photovoltaic modules». En: *2019 IEEE international conference on environment and electrical engineering and 2019 IEEE industrial and commercial power systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*. IEEE. 2019, págs. 1-5.
- [6] Ahmed Bouraiou et al. «Experimental investigation of observed defects in crystalline silicon PV modules under outdoor hot dry climatic conditions in Algeria». En: *Solar Energy* 159 (2018), págs. 475-487.
- [7] AW Kandeal et al. «Infrared thermography-based condition monitoring of solar photovoltaic systems: A mini review of recent advances». En: *Solar Energy* 223 (2021), págs. 33-43.
- [8] Xing Wang et al. «Intelligent monitoring of photovoltaic panels based on infrared detection». En: *Energy Reports* 8 (2022), págs. 5005-5015.
- [9] Md Momtazur Rahman, Imran Khan y Kamal Alameh. «Potential measurement techniques for photovoltaic module failure diagnosis: A review». En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151 (2021), pág. 111532.
- [10] Tarek Berghout et al. «Machine learning-based condition monitoring for PV systems: State of the art and future prospects». En: *Energies* 14.19 (2021), pág. 6316.
- [11] Carlos Toledo et al. «Measurement of thermal and electrical parameters in photovoltaic systems for predictive and cross-correlated monitorization». En: *Energies* 12.4 (2019), pág. 668.

Proposal for the implementation of ecotechniques for the management of basic resources in rural housing in the state of Oaxaca

Propuesta de implementación de ecotecnias para la gestión de recursos básicos en viviendas rurales del estado de Oaxaca

Daniela Muñoz-Sánchez^{*1}, José L. Caballero-Montes², and Itzel O. Matus-Enríquez³

¹ Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca

Av. Universidad S/N, 71210, Zimatlán, Oaxaca, México.

² Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca,

C.Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

³ Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca

Av. Universidad S/N, 71210, Zimatlán, Oaxaca, México.

musd_sanchez@hotmail.com, jcaballerom@ipn.mx, omara.matus@utvco.edu.mx

Abstract

This article presents a proposal of ecotechniques for the management of basic resources in rural communities in Oaxaca. To obtain the results, a methodology was structured that included 5 stages. Derived from a bibliographic review, the eco-techniques were found and selected considering selection criteria such as that they were determined to be low cost and could be easily built. After the selection of the eco-techniques, an experimentation stage was carried out, making nopal paint with lime and a spiral garden, to characterize the technical, economic and social appropriation aspects. The selected and experienced ecotechniques were integrated into a sustainable design project to improve remittance housing and the conservation of traditional housing in the Mixteca of Oaxaca. Finally, for the transfer of ecotechnologies to the communities, didactic material is made with clear information about these appropriate technologies, without delving into technical aspects so that the target population can take ownership of the construction process.

Keywords— Ecotechnologies, ecotechnology transfer, communities

* Autor de correspondencia

Resumen

Este artículo presenta una propuesta de ecotecnias para la gestión de recursos básicos en comunidades rurales de Oaxaca. Para la obtención de los resultados se estructuró una metodología que comprende de 5 etapas. Derivado de una revisión bibliográfica se encontraron y seleccionaron las ecotecnias considerando criterios de selección tal como que fueran de bajo costo y se pudieran construir fácilmente. Posterior a la selección de las ecotecnias se realizó una etapa de experimentación elaborando pintura de nopal con cal y un jardín en espiral, para caracterizar los aspectos técnicos, económicos y de apropiación social. Las ecotecnias seleccionadas y experimentadas se integraron a un proyecto de diseño sustentable para mejorar la vivienda de remesas y la conservación de la vivienda tradicional en la Mixteca de Oaxaca. Por último, la transferencia de las ecotecnologías a las comunidades se realizó a través de material didáctico con información clara acerca de estas tecnologías, sin profundizar en aspectos técnicos para que la población objetivo pueda adueñarse del proceso constructivo.

Palabras clave— Ecotecnias, Transferencia de ecotecnologías, comunidades

I. Introducción

La vivienda es el medio en el que las personas habitan desde el momento del nacimiento y la que los provee de los recursos básicos para su adecuado crecimiento, esta debe favorecer una vida digna a las personas que en ella habitan pudiendo así consolidar la unidad familiar y convertirse en un hogar [1]. Sin embargo, en comunidades rurales hay muchos factores que imposibilitan contar con una vivienda de calidad, que cuente con los recursos necesarios para lograr una vida digna, algunos de estos factores pueden ser la pobreza, marginación, las políticas de vivienda inadecuadas y el deterioro de los ecosistemas.

El mejoramiento de la vivienda, tanto de construcción convencional como de autoconstrucción, puede realizarse aplicando ecotecnia que sean social, económica y técnicamente factibles de adaptar al medio rural [2].

Las ecotecnologías pueden aprovechar la energía del sol o del viento, para una adecuada climatización natural, la conservación de alimentos perecederos, producción de hortalizas en invernaderos, macetas y/o huertos, así como para aprovechar el agua de lluvia, reciclaje de residuos y tratamiento de aguas grises [2]. Por lo que, este proyecto está enfocado en dar una propuesta de las ecotecnia que mejor se adapten a las comunidades rurales, considerando las limitaciones que este contexto conlleva, ya que fueron seleccionadas bajo criterios de fácil construcción y mantenimiento, así como, que las personas beneficiadas puedan operarlas con facilidad. Las ecotecnia seleccionadas para este proyecto son energéticamente eficientes, están en equilibrio con el medio ambiente y satisfacen de manera positiva los cinco ejes de necesidades básicas en la vivienda propuestas por varios autores: agua, manejo de residuos, alimentación, energía y vivienda. En este proyecto también se aborda la forma de transferencia del conocimiento acerca de la definición, materiales y proceso de construcción de las ecotecnia a la población objetivo; comunidades rurales, por medio de folletos, carteles y guías con información clara y concisa para que las personas se adueñen de la información y puedan hacer uso de ella para su beneficio.

II. Ecotecnologías y ecotecnia

Actualmente, son visibles las señales de degradación del medio ambiente en todo el mundo. Con la llegada de la revolución industrial las actividades humanas han ejercido un efecto catastrófico en todos los sistemas de vida en la tierra. Sin embargo, los seres humanos tenemos la capacidad de buscar alternativas amigables con el medio ambiente, y que sean útiles para minimizar la explotación de los recursos naturales, para esto se han desarrollado las ecotecnologías.

En [3] definen a la ecotecnología como “los diferentes dispositivos, métodos y procesos que brindan beneficios sociales y económicos a sus usuarios en armonía con el ambiente y con referencia a un contexto socio-ecológico específico”. Estos autores argumentan que las ecotecnologías tienen como objetivo reducir su propia huella ecológica, además de que cuenta con un potencial importante para contribuir a la provisión de vivienda en su saneamiento, electricidad, agua potable, alimentos y otros satisfactores, brindando simultáneamente una extensa gama de beneficios ambientales locales (recuperación de suelos, reducción de la contaminación de cuerpos de agua locales) y globales (mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera).

Las ecotecnologías se sincronizan a los procesos naturales (integración ecológica) además, sus beneficiarios (familia-comunidad) participan en su planeación, instrumentación, operación y mantenimiento. Así mismo, con el uso de las ecotecnologías se obtienen beneficios a la salud: reducción de la contaminación intramuros al reemplazar fogones por estufas eficientes; disminución de la presencia de patógenos por el uso de sanitarios ecológicos. Además de económicos: generación de oportunidades locales de empleo o ahorro económico por el uso eficiente de los recursos. Existen un sinnúmero de ecotecnia encaminadas a satisfacer las necesidades de las comunidades que se adaptan a las condiciones de cada región [2].

Las ecotecnia, por otra parte, son el producto de la ecotecnología, son las aplicaciones prácticas de esta, es decir, los artefactos, dispositivos y en general los mecanismos tangibles de la tecnología ecológica. El Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI) [4] considera que las ecotecnia son los instrumentos desarrollados para aprovechar de forma eficiente los recursos naturales y materiales, permitiendo la elaboración de productos y servicios, así como el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y materiales diversos para la vida diaria.

Hay diversos tipos de ecotecnia, se pueden elegir conforme mejor atiendan las necesidades de las personas o de las viviendas, aquellas que se adapten a nuestro entorno, usos y costumbres, así como a los materiales disponibles en nuestras comunidades. Este tipo de tecnologías se caracterizan por aprovechar eficientemente los recursos naturales y utilizar materiales de bajo impacto ambiental en su elaboración, además de que garantizan el uso de una fuente limpia, económica y ecológica para obtener los recursos de nuestra vida diaria [5].

III. Materiales y métodos

Este apartado se refiere al modelo metodológico utilizado para alcanzar el objetivo del proyecto, se divide en

cinco etapas.

III.1. Etapa 1. Revisión bibliográfica acerca de las ecotecnias

Durante esta primera etapa del proyecto se realizó una investigación bibliográfica en libros, artículos, revistas digitales, y libros electrónicos con el fin de consultar literatura acerca de las ecotecnias para poder así tener un panorama más amplio acerca de su significado, sus beneficios y los tipos que existen de estas. Se recopiló información de cada ecotecnia identificada, clasificándolas según el eje de necesidad básica en la vivienda como: agua, energía, alimentación, manejo de residuos y vivienda.

III.2. Etapa 2. Selección de ecotecnias adaptables a viviendas rurales del estado de Oaxaca

En la segunda etapa del proyecto, con base en la información recopilada en la etapa uno, se realizó un análisis comparando las diversas ecotecnias para seleccionar las adecuadas a las viviendas rurales. Se tomaron en cuenta criterios como: reducción a los intereses del proyecto, facilidad de construcción, integración con materiales reciclados y acceso de bajo costo.

III.3. Etapa 3. Experimentación con dos ecotecnias

Durante esta etapa del proyecto se realizó la fase de experimentación, en la que se construyeron dos ecotecnias para caracterizar aspectos técnicos y económicos. Las ecotecnias seleccionadas para esta fase fueron: un jardín en espiral con plantas que son propias de la región de la mixteca y pintura ecológica de nopal con cal para su aplicación en elementos de muros y techos de viviendas. Para la construcción del jardín en espiral se utilizó la metodología propuesta en [6] esta se divide en dos etapas.

La etapa número uno se refiere a la planificación, se debe determinar el área, así como los materiales de construcción. La etapa número dos es la construcción del jardín en espiral con los materiales seleccionados. Durante esta fase se utilizaron como técnica de recolección de datos la observación, la fotografía y la bitácora de campo para posteriormente realizar la etapa 4.

III.4. Etapa 4. Integrar en un proyecto de vivienda rural de un caso de estudio las ecotecnias seleccionadas

Durante la etapa cuatro, se integraron las ecotecnias seleccionadas y experimentadas a un proyecto de vivienda construida con remesas de migrantes en la región de la mixteca, en la comunidad de San Pablo Tijaltepec, Oaxaca, ver [7].

III.5. Etapa 5. Elaborar material didáctico (guías constructivas, infografías y carteles) para la transferencia de las ecotecnologías

A partir de los datos obtenidos en la etapa tres se elaboró material didáctico (guías de construcción, infografías y carteles) con mínimo contenido de información técnica, explicado de forma sencilla de tal forma que pudiera ser comprendido por las personas en las comunidades, aunque su nivel educativo fuera básico. El material didáctico se realizó en el software de diseño gráfico simplificado Canva, así como en el programa de Microsoft Office, PowerPoint.

IV. Resultados por etapas

IV.1. Revisión bibliográfica

Derivado de la revisión bibliográfica se obtuvieron distintas ecotecnias las cuales se clasifican según su eje de necesidad básica en la vivienda, considerándolas aplicables para el contexto socioeconómico que en el caso del proyecto está orientado al área rural (Ver Tabla 1).

IV.2. Selección de ecotecnias

A partir de la revisión bibliográfica se seleccionaron las ecotecnias adecuadas para el contexto rural. Se obtuvieron tres o más ecotecnias para cada eje de necesidad básica en la vivienda. En el caso de la energía se obtuvieron tres propuestas: la estufa Patsari, estufa Rocket y un horno solar, los cuales tienen atributos que son amigables con el enfoque del proyecto, en cuanto al recurso agua se seleccionaron tres ecotecnias: un sistema de captación de agua de lluvia (SCAP), una cisterna de ferrocemento que puede ser utilizada para el almacenamiento del agua que se obtenga del SCAP y un biofiltro de fácil construcción para el tratamiento de aguas grises de la vivienda. Para el caso de la alimentación se encontraron cuatro propuestas de ecotecnias: los huertos urbanos, bioplaguicidas, biofertilizantes y las conservas, todos de fácil elaboración con materiales de bajo costo y existentes en la naturaleza. Por su parte, para el manejo de residuos en la vivienda optamos por un biodigestor, composta y un baño seco para cubrir esta necesidad, por último, para la construcción y diseño de la vivienda se encontraron las siguientes propuestas: paneles de ferrocemento con PET, pintura de nopal con cal, muros de bahareque y adobe (Ver Tabla 2).

IV.3. Experimentación con dos ecotecnias

Durante esta etapa se realizó el proceso constructivo de dos ecotecnias seleccionadas. Se construyó un jardín en espiral utilizando materiales de fácil obtención y también se realizó una pintura ecológica a base del mucílago

Tabla 1: Ecotecnias identificadas en la revisión bibliográfica. Fuente: elaboración propia

Eje de necesidad básica en la vivienda	Ecotecnias seleccionadas
Alimentación	Organoponía, hidroponía, conservas, bioplaguicidas, biofertilizantes, azoteas verdes, huertos en espiral, banco de semillas y permacultura.
Agua	Cisterna de ferrocemento, sistema de captación de agua de lluvia, biofiltro, esterilizador de luz ultravioleta, sanitarios secos, tratamiento de aguas grises y regadera ecológica.
Vivienda	Ferrocemento, paneles de ferrocemento con PET, pintura ecológica de nopal, muros de paja, COB, adobe, viviendas de PET, muros de bahareque, techos verdes y tejas solares.
Energía	Bici máquinas, calentadores solares estufas ahorradoras, paneles solares, aerogeneradores, deshidratadores solares, biodigestores, hornos solares, estufas solares, lámparas LED y enfriador solar.
Manejo de residuos	Biofiltro, humedales artificiales, fosas sépticas, baños secos, biodigestor, composta y lombricomposta.

Tabla 2: Ecotecnias seleccionadas. Fuente: elaboración propia

Eje de necesidad básica en la vivienda	Ecotecnias seleccionadas
Alimentación	Huertos urbanos, huertos en espiral, invernaderos, bioplaguicidas, biofertilizantes y conservas.
Agua	Cisterna de ferrocemento, sistema de captación de agua de lluvia y biofiltro.
Vivienda	Ferrocemento, paneles de ferrocemento con PET, pintura ecológica de nopal, muros de bahareque y adobe.
Energía	Estufa Rocket, estufa Patsari y hornos solares.
Manejo de residuos	Biofiltro, biodigestor, composta y baño seco.

de nopal y cal. Estas ecotecnias se realizaron en el laboratorio de ecotecnias del CIIDIR IPN unidad Oaxaca.

Construcción del jardín en círculos concéntricos

Para elaborar el jardín en círculos concéntricos se utilizó como base el principio de un jardín en espiral teniendo un funcionamiento similar. Se necesitaron palas, pico, un flexómetro, hilo, adoquines y botellas de vidrio.

El primer paso para realizar el jardín fue limpiar y delimitar el área en donde se construyó. Después con ayuda del flexómetro medimos el hilo que nos ayudará a realizar el círculo. Para este jardín el hilo tiene una medida de 60 cm. Trazamos un círculo del tamaño que se desee, en este caso el círculo tiene un diámetro de 120 cm. Clavando una varilla en el suelo, justo en donde queremos que sea el centro de nuestro jardín y atando el hilo a la varilla trazamos el círculo.

Posteriormente se procede a escarbar con ayuda de las palas fuera del círculo realizado para introducir los adoquines. Una vez escarbado todo el círculo se introdujeron los adoquines. Luego se agregó la tierra mezclada con abono para hacer el primer nivel del jardín. Se volvió a



(a) Jardín en círculos concéntricos en proceso



(b) Jardín en círculos concéntricos finalizado

Figura 1: Proceso constructivo de un jardín en círculos concéntricos

medir el hilo a 40 cm y se realizó la misma operación de la varilla con el hilo para hacer un círculo más pequeño dentro del círculo base.

Después se introdujeron los adoquines y se agregó la tierra con abono para formar el segundo nivel del jardín. Para realizar el último nivel del jardín se realizó un círculo más pequeño dentro del nivel anterior. Para la última espiral del jardín se utilizaron botellas en lugar de adoquines. El proceso descrito anteriormente, se ilustra en la Figura 1.



Figura 2: Elaboración de pintura ecológica de nopal y cal

Elaboración de pintura ecológica de nopal y cal

Para elaborar la pintura de nopal con cal se utilizaron los siguientes ingredientes: 8 nopales medianos, 2.5 kg de cal, 1 kg de sal fina, 6 lts de agua y 2.5 kg de blanco España. En cuanto a los utensilios se utilizaron: una tabla para picar, cuchillo y tijeras, un recipiente para hervir los nopales, un colador grande de malla fina, un palo de 50 cm grueso y limpio, guantes de goma, cubrebocas y recipientes vacíos, limpios y secos para guardar la pintura.

El primer paso para elaborar la pintura de nopal y cal fue cortar los 8 nopales con las tijeras y el cuchillo apoyándonos en la tabla para picar, después pusimos los nopales en una olla, agregamos dos litros de agua y pusimos la olla al fuego hasta que hirvió, este proceso se realizó para que el nopal soltara más rápido el mucílago (baba), después se dejaron enfriar para luego colarlos y separar el mucílago, posteriormente al mucílago de nopal ya colado se le adicionó poco a poco la cal y con el palo de 50 cm, limpio se mezcló hasta disolver, procurando no dejar grumos, se agregó el blanco España, este ingrediente es opcional, se utilizó para lograr una textura más uniforme al momento de pintar.

Después se agregó la sal y los 4 lts de agua restantes, revolviendo hasta lograr una consistencia homogénea. Por último, se realizó una prueba en una superficie para comprobar que la pintura si pigmentaba. La pintura se conservó en un recipiente sellado para ser utilizada posteriormente.

En las figuras 2 y 3 se observan el proceso de elaboración de la pintura ecológica y prueba de pigmentación.



Figura 3: Superficie pintada con pintura ecológica de nopal y cal

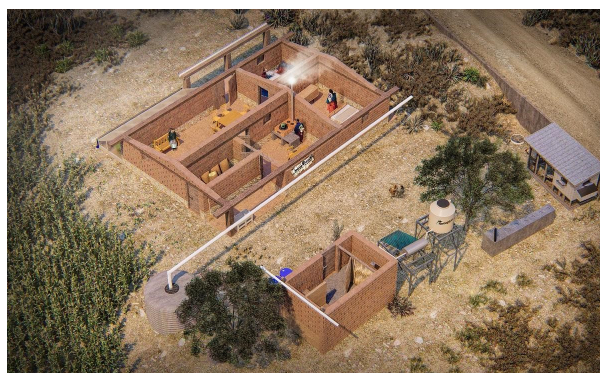


Figura 4: Corte isométrico de la vivienda con ecotecnias. Fuente: (Rios,2022)

IV.4. Integrar en un proyecto de vivienda rural de un caso de estudio las ecotecnias seleccionadas

En la Figura 4 se observa un corte isométrico de la vivienda con las ecotecnias implementadas, dentro de la vivienda, en el área de la cocina se encuentra la estufa Patsari y la estufa rocket en su defecto, adosado al muro de adobe del lado sureste se encuentra el invernadero. Los huertos y el jardín en espiral se ubican en el lado este del predio, el lavadero y el biofiltro se ubican al norte, el baño seco, la gestión de basura y el compostaje se ubican de igual forma al norte, también se puede observar el calentador solar y el sistema de captación de agua pluvial.

IV.5. Elaborar material didáctico (guías constructivas, infografías y carteles) para la transferencia de las ecotecnologías

Como resultado de esta etapa se obtuvieron dos infografías sobre el proceso constructivo de las ecotecnias realizadas; un jardín en espiral y pintura ecológica a base



(a) Infografía jardín en espiral

(b) Infografía pintura ecológica

Figura 5: Material didáctico del proceso constructivo de ecotecnias

de nopal y cal (ver Figura 5). Este material se realizó con la finalidad de transferir el conocimiento de forma didáctica y con el mínimo uso de tecnicismos para que el proceso de elaboración de las ecotecnias pueda ser comprendido por todas las personas de las comunidades, aunque su nivel de escolaridad sea básico.

V. Resultados generales

Las ecotecnias propuestas en la tesis “Proyectos de diseño sustentable para mejorar la vivienda de remesas y la conservación de la vivienda tradicional en la Mixteca de Oaxaca” pretenden gestionar las deficiencias de las viviendas rurales de la comunidad de San Pablo Tijaltepec atendiendo temas de energía, alimentación, manejo de residuos, agua y vivienda en general.

Ríos propone un sistema de captación de agua de lluvia, un filtro de aguas grises para riego por goteo, un invernadero, realizar compostaje, implementar un calentador solar, propiciar la vegetación endémica, utilizar la estufa Patsari e instalar elementos de reciclaje y gestión de basura.

A estas propuestas se le añadieron siete ecotecnias de la etapa dos, estas son: una estufa Rocket la cuál promueve un uso eficiente de energía contribuyendo al bajo consumo de leña, bioplaguicidas y biofertilizantes los

cuales pueden ser utilizados en los huertos para controlar las plagas y mejorar el rendimiento de los cultivos de forma sustentable, las conservas del mismo modo pueden ser utilizadas en la vivienda para preservar los alimentos obtenidos del huerto e invernadero, un jardín en espiral con el objetivo de que se cultive en él plantas medicinales endémicas de la región, un baño seco para hacer uso eficiente del agua y la pintura ecológica a base de nopal y cal es una opción que se puede implementar en la vivienda para pintar muros, paredes, cercas, etc. evitando la compra de pintura comercial y contribuyendo a la utilización de materiales que se encuentran en la región como es el nopal. Todas estas tecnologías sustentables son propuestas para mejorar la gestión de los recursos básicos en la región de la Mixteca y así lograr una mejor calidad de vida de sus habitantes.

VI. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto contribuye a contextualizar una vivienda sustentable por medio de la integración de tecnologías apropiadas en un medio rural, logrando con esto una gestión eficiente de los recursos básicos y por ende una vida de calidad de los habitantes.

Lo anterior, debido a que las ecotecnias seleccionadas para integrarlas a la vivienda se determinaron tomando en cuenta que su construcción y mantenimiento no significara un gasto considerable a los beneficiarios, ya que los factores que determinaron su selección fueron ser de bajo costo y hacer uso de materiales reciclados, también que fueran de fácil construcción y aprendizaje.

Derivado del proceso de experimentación con las ecotecnias, con lo que se confirmó la eficiencia de estas, se propone que la construcción de las ecotecnias para las distintas áreas se realicen con materiales reciclados o materiales preferiblemente que sean propios de la comunidad, se recomienda recabar todos los datos y puntos importantes del proceso de construcción para tener una base para futuras réplicas de la ecotecnia construida.

La propuesta realizada pretende con las ecotecnias suplir las carencias de recursos básicos de las comunidades rurales, ya que estas tecnologías apropiadas atienden problemas relacionados con el agua, el saneamiento, el consumo energético, el manejo de residuos y la alimentación de las familias.

Si bien esta propuesta es solo el inicio de una solución integral a los problemas sociales y ambientales, es necesario que este tipo de proyectos se divulguen de forma esquemática sin ahondar en aspectos técnicos, por medio de guías o manuales. Lo anterior para que permita la transferencia del conocimiento acerca de los beneficios, construcción y mantenimiento de las ecotecnias a las personas en las comunidades rurales.

Este tipo de proyectos permiten fortalecer los conoci-

mientos y las habilidades de los estudiantes y profesionistas de carreras afines al medio ambiente y la sustentabilidad y promueven el uso de tecnologías ecológicas en las comunidades rurales y urbanas.

Agradecimientos

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Oaxaca por haberme permitido realizar el proyecto en sus instalaciones.

Al M.A José Luis Caballero Montes por su apoyo y acompañamiento durante el desarrollo del presente trabajo.

A la M.G.P Itzel Omara Matus Enríquez por su interés y disponibilidad durante este proyecto.

Referencias

- [1] CONEVAL. *Derecho Vivienda Digna y Decorosa*. www.coneval.org.mx, 2019. URL: https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/Paginas/Derecho_Vivienda.aspx (visitado 26-06-2022).
- [2] JL Palacios. «La casa ecológica: como construirla.» En: *España: Editorial Trillas Sa De Cv* (2011).
- [3] Jorge Ortiz Moreno, Sandra Malagón García y Omar Raúl Masera Cerutti. «Ecotecnología y sustentabilidad: una aproximación para el Sur global». En: *INTERdisciplina* 3 (sep. de 2015). DOI: 10.22201/ceiich.24485705e.2015.7.52391. (Visitado 25-06-2022).
- [4] INPI | Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. *Ecotecnias. Guía práctica para comunidades indígenas*. gob.mx, dic. de 2016. URL: <https://www.gob.mx/inpi/articulos/ecotecnias-guia-practica-para-comunidades-indigenas?tab=> (visitado 25-06-2022).
- [5] Mario Castillo Hube. *Manual práctico de capacitación en ecotecnias para el uso sustentable del recurso hídrico en la comuna de Monte Patria, Localidad Chañaral Alto (Región de Coquimbo)*. Instituto de capacitación CGM. URL: <https://www.curriculumnacional.cl/portal/143504:Manual-practico-de-capacitacion-en-ecotecnias-para-el-uso-sustentable-del-recurso-hidrico-en-la-comuna-de-Monte-Patria-Localidad-Chanaral-Alto-Region-de-Coquimbo>.
- [6] Bosque virgen. *Consejos para construir tu propio jardín en espiral* | BosqueVirgen.com. Bosque Virgen, mar. de 2022. URL: <https://bosquevirgen.com/huerto/consejos-para-construir-tu-propio-jardin-en-espiral/> (visitado 01-08-2023).
- [7] Flor Gabriela Rios. «Proyectos de diseño sustentable para mejorar la vivienda de remesas y la conservación de la vivienda tradicional en la Mixteca de Oaxaca». Tesis doct. Mar. de 2022, págs. 104-116. URL: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/642 (visitado 20-07-2022).

Quantification system of mechanical vibrations using a CCD transducer

Sistema para la cuantificación de vibraciones mecánicas empleando un transductor CCD

Luis Barbosa-Santillán¹, Antonio Castillo-Cervantes^{*1}, Abdías Calvario-González¹, Mirna Juárez-Varela¹, and Micheline Castuera-Chávez¹

¹Universidad Tecnológica de Puebla (UTP),
Sistemas Automotrices,

Antiguo Camino a la Resurrección 1002-A, Zona Industrial, Puebla, Pue., México, 72300.
{luis.barbosa,juan.castillo,abdias.calvario,mirna.juarez,micheline.castuera}@utpuebla.edu.mx

Abstract

In this article, a methodology is presented to obtain the temporal displacement and the frequency spectrum corresponding to a mechanical vibration. The main work contribution consists in the implementation of an optical transducer, as part of the machinery failure prediction system. The proposed methodology consists of the following steps: video acquisition, image extraction, gray conversion, thresholding, filtering, labeling, pattern extraction, storage, frequency domain conversion, and graphical presentation of the results. As results, the temporal displacement and the characteristic frequency spectrum of a mechanical failure due to imbalance are obtained through image analysis.

Keywords— Mechanical vibrations, transducer, image analysis.

Resumen

En este artículo, se presenta una metodología para obtener el desplazamiento temporal y el espectro de frecuencia correspondientes a una vibración mecánica. La aportación principal del trabajo consiste en la implementación de un transductor óptico, como parte del sistema de predicción de fallas en maquinarias. La metodología propuesta consiste en los siguientes pasos: adquisición del video, extracción de imagen, conversión a grises, umbralado, filtrado, etiquetado, extracción de patrones, almacenamiento, conversión al dominio de frecuencia y

la presentación gráfica de los resultados. Como resultados se obtienen el desplazamiento temporal y el espectro de frecuencia característicos de una falla mecánica por desbalance, a través del análisis de imágenes.

Palabras clave— Vibraciones mecánicas, transductor, análisis de imágenes.

I. Introducción

El análisis de vibraciones mecánicas para el diagnóstico en el contexto del mantenimiento predictivo en maquinarias rotativas, ha tenido un gran auge en las últimas décadas en múltiples industrias [1]. Las máquinas en funcionamiento generan vibraciones que contienen información sobre su estado físico. Típicamente se utiliza un palpador para medir esta vibración, el sensor debe montarse en un punto apropiado de la máquina (por ejemplo, el soporte del rodamiento). El instrumento mide la señal de vibración recogiendo la amplitud y frecuencia de las vibraciones, para procesarlas y predecir posibles fallos de la máquina rotatoria. Los fallos más frecuentes son defectos en rodamientos, desequilibrio, desalineación y holguras. En este trabajo se pretende capturar la vibración a través de un medio óptico y generar un vector característico que pueda ser asociado a alguna de estas fallas.

Para lograr este objetivo se construyó un equipo rotatorio para simular la falla mecánica de desbalance, mediante un disco perforado capaz de generar vibraciones proporcionales a la magnitud y posición de un peso insertado estratégicamente en su periferia. El desbalance ocurre cuando el eje principal de inercia del rotor no

* Autor de correspondencia

coincide con el eje geométrico del sistema, lo que provoca vibraciones que generan fuerzas indeseables que se transmiten directamente a los elementos de la máquina, como soportes y cojinetes del rotor. Los instrumentos de medición tradicionales captan el patrón de vibración temporal (espectro de vibración) empleando palpadores, registrando la amplitud y frecuencia de la vibración mediante velocímetros y acelerómetros; estos espectros pueden ser clasificados con diversas técnicas de Inteligencia Artificial (IA) como: el *k* vecino más cercano (*k*-NN), máquinas de soporte vectorial (SVM), redes neuronales (NN) y *deep learning*, para el diagnóstico de fallas de maquinaria rotativa [2].

Recientemente han sido publicados trabajos que ocupan cámaras para conseguir patrones vibratorios, por ejemplo [3] emplea una cámara aérea esférica ubicada en una aeronave de transporte para obtener la vibración a diferentes frecuencias.

Por otro lado [4] presenta un estudio experimental sobre la medición con múltiples cámaras síncronas de la flexión de una viga excitada por una fuerza transversal. El estudio muestra que la precisión de las mediciones aumenta significativamente a medida que la configuración está equipada con un número mayor de cámaras.

Para obtener la información de la vibración inducida por desbalance, en este trabajo experimental se diseñaron unas marcas circulares, adheribles y reflejantes, las cuales se fijaron a la máquina para registrar su evolución vibratoria espacial. Estas marcas fueron captadas empleando un sensor digital tipo CCD y procesadas, empleando técnicas de análisis de imágenes para generar un vector de desplazamiento temporal asociado a su vibración y, por ende, a la vibración de la máquina.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describen los elementos empleados para la construcción del sistema de adquisición de patrones vibratorios basados en un sensor tipo CCD, así mismo, se establecen los niveles y ajustes configurados sobre la cámara. En la sección III se detalla la metodología propuesta para conseguir la información vibratoria de una máquina sujeta a desbalance. Finalmente, en las secciones IV y V se muestran los resultados obtenidos y las conclusiones de las pruebas realizadas.

II. Prototipo para la adquisición de datos

Se muestran los elementos del equipo utilizado en el presente estudio en la Figura 1. El sensor CCD usado para el prototipo pertenece a un smartphone Samsung modelo SM-G531H, con una resolución de $2,048 \times 1,152$ píxeles y una profundidad de 24 bits. El sistema cámara-objeto no fue aislado del ambiente externo y de la luz natural, sin embargo, la iluminación fue complementada con una lámpara fluorescente circular (32 W, 1900 lm), tempe-

ratura de color de 6500 K y diámetro de bombilla de (11-9-64) pulgadas. Los parámetros de la cámara se configuraron de la siguiente manera: apertura del diafragma – $f/2.2$, tiempo de exposición – $1/120$ s, sensibilidad del sensor – ISO-50, distancia focal – 3 mm.

En la parte superior de la Figura 1 se muestra el diseño mecánico de las partes que componen la máquina rotatoria, capaz de generar una vibración causada por desbalance en uno de sus cuatro discos perforados, mientras que en la parte inferior podemos observar la máquina ensamblada dentro del sistema óptico para la captura de la información vibratoria.

III. Método

El método consta de diez pasos para extraer información de los datos contenidos en las imágenes capturadas en video. Los cuales se enlistan a continuación:

1. Adquisición del video.
2. Extracción de una imagen.
3. Conversión de RGB a tonos de grises.
4. Umbralado de la imagen.
5. Relleno de objetos de interés y eliminación de objetos pequeños.
6. Etiquetado de componentes conectados.
7. Extracción de patrones.
8. Almacenamiento.
9. Conversión del dominio del tiempo al de frecuencia sobre los datos almacenados.
10. Presentación del espectro de vibración en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

Adicionalmente se muestran estos pasos en forma gráfica en la Figura 8.

III.1. Adquisición del video

Para la adquisición del video se cuidó que las vibraciones registradas se debieran exclusivamente a la vibración de la máquina evitando la adición de vibraciones ajenas como por ejemplo, las causadas por una incorrecta sujeción del sensor que captura la información. Además, se fijó la distancia a 40 cm entre la cámara y la máquina para evitar distorsiones de tamaño debidas a la cercanía o lejanía del objeto en estudio. Se colocó una pesa de 20 gramos en el disco externo derecho sobre el orificio más alejado al eje de rotación para desbalancear artificialmente la máquina. Se arrancó el motor de corriente directa ocasionando una velocidad de giro aproximada del disco perforado de 180 rpm. Finalmente, la adquisición del video se configuró a treinta cuadros por segundo (30 fps) velocidad suficiente para registrar las vibraciones originadas por desbalance.

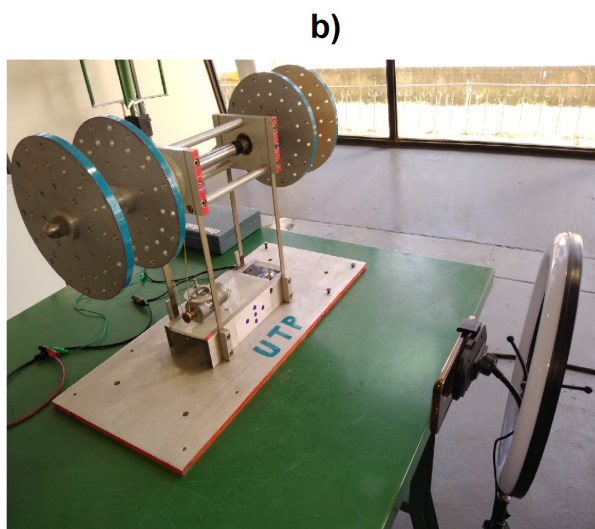
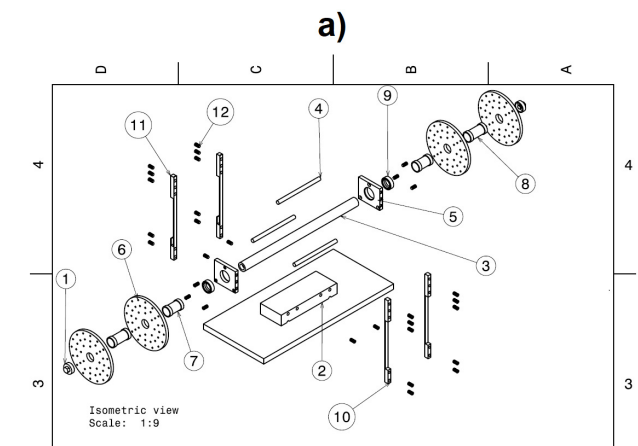


Figura 1: Prototipo de Máquina vibratoria
 a) Plano en explosión de las partes para el ensamble.
 b) Sistema empleado para generar y capturar la vibración

III.2. Extracción de una imagen

Para procesar el video se extrajeron cuadro por cuadro cada una de sus imágenes empleando el software de procesamiento de datos *MATLAB*, por ejemplo en la Figura 2 se aprecia el cuadro número 471 de un video de 16 segundos de duración (480 frames). Se concentró la filmación del video en las marcas circulares fabricadas con material reflejante, logrando así que se destaquen de la escena.

III.3. Conversión de RGB a tonos de grises

Con el objetivo de facilitar el segmentado de las marcas circulares, se transforman las capas de color verde, roja y azul que componen la imagen original a su equivalente en tonos de grises, logrando así que los píxeles pertenecientes a las marcas adquieran el tono blanco máximo

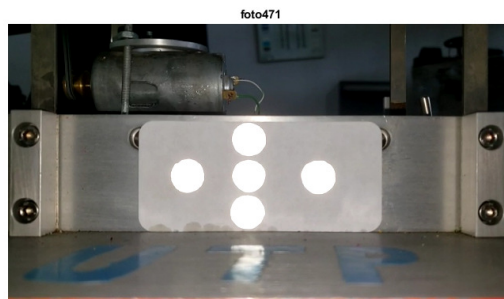


Figura 2: Cuadro que muestra las marcas circulares adheridas a una sección del prototipo

(255) y no así los demás píxeles que corresponden al fondo de la imagen, ver Figura 3.

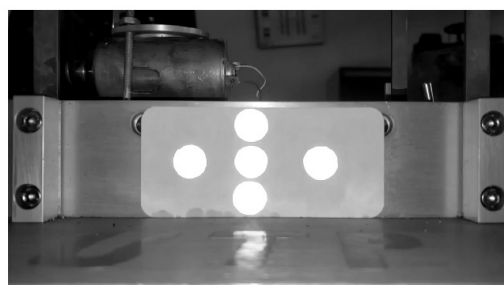


Figura 3: Imagen resultante después de la conversión a tonos de grises

III.4. Umbralado de la imagen

Uno de los procedimientos más complicados durante el procesamiento de las imágenes es la segmentación [5], ya que al separar objetos de interés del resto de la imagen no existe un algoritmo satisfactorio para todos los casos; sin embargo, gracias a que se emplea un material reflejante de luz en la construcción de las marcas objetivo, esta tarea fue simplificada dado que los objetos de interés adquirieron una tonalidad de blanco máxima en el sistema RGB. Logrando así la segmentación mediante la técnica de umbralado para discriminar casi la totalidad de los píxeles que no corresponden a los objetos de estudio. En la Figura 4 se puede apreciar las cinco marcas completas y casi segmentadas del resto de la imagen, no obstante, nótese la presencia de una línea encima del círculo superior, esta línea se considera ruido, es decir información no útil que obstaculiza la extracción de información, en el siguiente paso se muestra como eliminarlo.

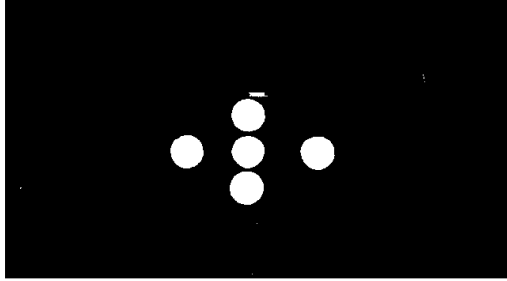


Figura 4: Imagen binaria resultante después de la aplicación del umbralado

III.5. Relleno de objetos de interés y eliminación de objetos pequeños

Como parte del pre-procesamiento se aplicaron dos operadores para eliminar el ruido, el primero consiste en rellenar con píxeles blancos los objetos presentes en la imagen.

El algoritmo para el relleno de la región ocupa la operación de dilatación morfológica, el complemento y la intersección.

La operación morfológica de dilatación se define como el proceso de convolucionar un elemento de estructura B sobre una imagen A , mediante los siguientes pasos:

1. Supongamos que X es el conjunto de coordenadas euclidianas correspondientes a la imagen binaria de entrada y K es el conjunto de coordenadas del elemento estructurante.
2. Permita que K_x represente la traslación de K , para que su origen esté en x .
3. Entonces la dilatación de X por K es simplemente el conjunto de todos los puntos x tales que la intersección de K_x con X es no vacía.

Se dice que A se dilata por B , escrito como $A \otimes B$, y se define formalmente como Ecuación (1).

$$A \otimes B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

donde:

A es un elemento de imagen

B es un elemento de estructura simétrico

\otimes es el operador de dilatación

\hat{B} es la reflexión de B

\cap es el operador de intersección

\emptyset es para el conjunto vacío

Finalmente, según [6], el procedimiento para rellenar una región comenzando desde un punto p que se encuentre dentro del borde, se establece como Ecuación (2):

$$X_k = (X_{k-1} \otimes B) \cap A^c \quad k = 1, 2, 3, \quad (2)$$

donde:

$X_0 = p$

B es un elemento de estructura simétrico

\cap es el operador de intersección

A^c es el complemento de conjunto A

Por otro lado, el segundo operador dedicado a la tarea de eliminar los objetos pequeños evalúa el tamaño de cada uno de los objetos presentes en la imagen, si este es menor a 50 píxeles, se elimina. El criterio se basa en que el ruido se presenta generalmente en áreas pequeñas. La imagen resultante después de aplicar estos filtros se muestran en la Figura 5.

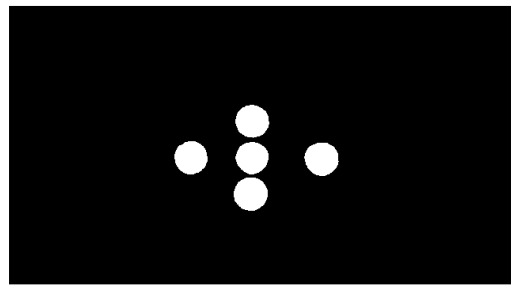


Figura 5: Imagen filtrada

III.6. Etiquetado de componentes conectados

Los algoritmos de etiquetado de componentes conectados (CCL por sus siglas en inglés) realizan la asignación de un identificador único a cada conjunto conexo de píxeles con unas mismas propiedades dentro de la imagen, ver Figura 6. Utiliza algoritmos que, partiendo de una imagen binaria, van analizando conectividades entre píxeles situados en un entorno formado por cuatro ($N4$) u ocho vecinos ($N8$), de forma que, al final, dos píxeles, p y q , pertenecerán a un mismo componente cuando ambos se consideren parte del primer plano o del fondo y exista un camino de píxeles del mismo tipo entre ellos, es decir, cuando se verifique la Ecuación (3), donde S es un subconjunto de píxeles de la imagen binaria [7].

$$p \text{ conectado a } q \iff \exists \{s_i \in S \mid s_1 = p, s_{n+1} = q, s_{i+1} \in N(s_i), i = 1, \dots, n\} \quad (3)$$

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2	2	0	0	3	3	0	2	0
0	2	2	2	2	2	2	0	0	3	0	0	2	0
0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	7	7	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 6: Representación matricial de tres objetos conectados

III.7. Extracción de patrones

Se eligió como característica principal el centroide de cada una de las marcas debido a que su posición refleja fielmente la vibración de la máquina en conjunto, adicionalmente se tomó la estrategia de colocar las marcas en forma de plano cartesiano para contar con información redundante en caso de que algunas de ellas presente alguna anomalía. Ver Figura 7.

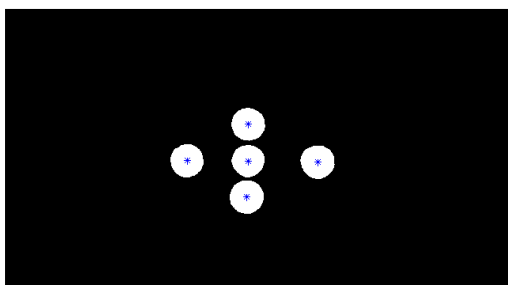


Figura 7: Imagen que muestra el patrón obtenido de centroide sobre cada marca

La Ecuación (4) sirve para calcular el centroide en el punto (x,y) de un área de interés f.

$$\bar{x} = m_{10}/m_{00} \quad , \quad \bar{y} = m_{01}/m_{00} \quad (4)$$

donde f(x,y) representa el valor de la imagen en las coordenadas (x, y). Las sumatorias se toman sobre toda el área del objeto. En esta ecuación, i y j son enteros positivos e i + j es llamado el orden del momento respectivo. En particular, m₀₂ y m₂₀ son los momentos de inercia de f respecto a los ejes x e y, respectivamente [8]. Finalmente, los momentos (m) están definidos por la Ecuación (5).

$$m_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j f(x, y) \quad (5)$$

III.8. Almacenamiento

Una vez calculado el centroide de la i-ésima imagen, este valor es almacenado en dos vectores de características, uno para las coordenadas verticales y y otro para las coordenadas horizontales x. Acto seguido, se procede a repetir el procedimiento para almacenar el siguiente patrón vibratorio, como se puede observar en el diagrama de flujo de la Figura 8, deteniéndose el algoritmo iterativo hasta procesar la última imagen del video.

Finalmente, se describen los bloques nueve y diez de la metodología en la sección de resultados, dado que es la parte del algoritmo en donde se transforma y presenta la información extraída del video.

Tabla 1: Muestra de Patrones de vibración

Cuadro número	\bar{x}	\bar{y}
1	230.045288	191.883856
2	230.047169	192.407111
3	230.051711	192.658412
4	229.862244	192.824344
5	229.850800	192.773653
6	229.739696	192.399132
7	229.792357	191.896899
8	229.788937	191.558224
9	229.875726	191.581395
10	229.912191	191.751088
11	229.851636	192.346909
12	229.822286	192.640932
13	229.732752	192.775599
14	229.647529	192.795784
15	229.547687	192.519508
16	229.586580	191.955988
17	229.503976	191.573391
18	229.609898	191.454876
19	229.604803	191.710334
20	229.629067	192.304410
21	229.545322	192.694706
22	229.482608	192.766666
23	229.216314	192.865258
24	229.176855	192.545851
25	229.131884	192.011594
26	229.095065	191.563860
27	229.120727	191.469818
28	229.191101	191.733770
29	229.238372	192.223110
30	229.152838	192.548034

IV. Resultados

En esta sección, mostramos los principales resultados al aplicar la metodología propuesta sobre el sistema desarro-

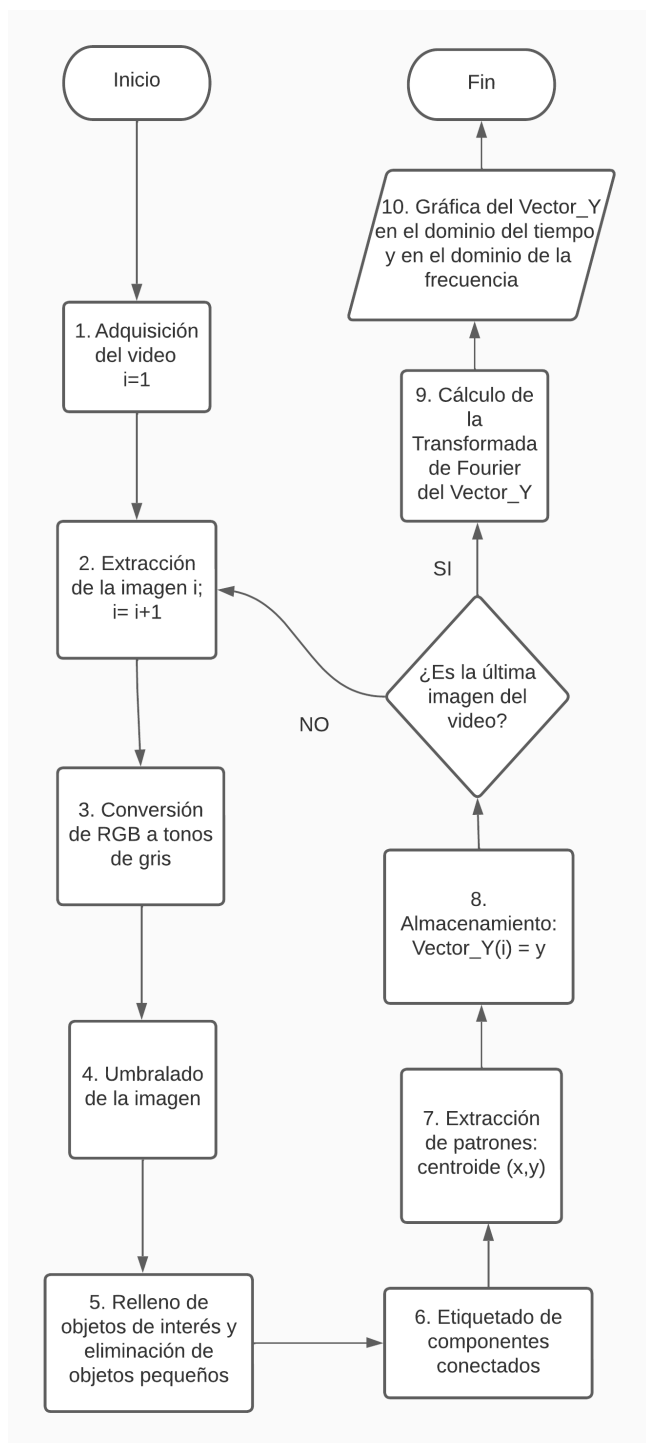


Figura 8: Diagrama de flujo del método propuesto para la cuantificación de vibraciones mecánicas empleando un transductor CCD

llado. Primeramente, se relaciona la vibración temporal contra el desbalance mecánico y, posteriormente, exponemos su correspondiente representación en el dominio de la frecuencia.

IV.1. Espectro de vibración en el dominio del tiempo

El vector de salida del paso 8, llamado *Almacenamiento*, contiene información del desplazamiento horizontal y vertical del centroide de nuestra marca. Este vector contiene información del arranque y de la estabilidad del movimiento rotacional; de esta información se elige el desplazamiento vertical, el cual se puede identificar en la Figura 9 donde se verifican distintos movimientos oscilatorios.

Para evidenciar las características dinámicas de interés, el inicio de la señal que corresponde al transitorio se divide y se ocupa la sección estable. Se observa que alrededor de la muestra 200 se localiza la amplitud máxima y mínima del desplazamiento; y después de ellos se alcanza una cierta estabilidad en las oscilaciones. La oscilación de rango máximo, junto con un par de oscilaciones periódicas estables, se muestran en la Tabla 1, las cuales se corresponden con un espectro típico de desbalance. [9]. El segmento de patrón vibratorio seleccionado considera un lapso de tiempo de un segundo, cuya frecuencia aproximada es de 3 Hz, es decir, el período de un ciclo es de un tercio de segundo.

En la Tabla 1 identificamos el rango máximo de desplazamiento de 1.410382, que es la diferencia entre el desplazamiento máximo localizado en la posición 23 y el mínimo, localizado en la posición 18 de la Tabla 1, e indica la severidad del desbalance.

IV.2. Espectro de vibración en el dominio de la frecuencia

Con el vector de desplazamiento y del centroide almacenado en el paso 8 de la Figura 8, se elige una muestra para calcular Y , que es la Transformada Discreta de Fourier, o por sus siglas en inglés DFT. Este cálculo permite conocer las características del desplazamiento en el dominio de la frecuencia.

La frecuencia de muestreo F_s y la longitud de la muestra N , determinan la resolución del espectro de frecuencia, es decir el número de *bins*, como se indica en la Ecuación (6).

$$Nbins = F_s/N \tag{6}$$

El vector de salida del paso 9 es el espectro de frecuencia, cuyo cálculo se realiza con la Ecuación (7). En la DFT, la entrada y se encuentra en el dominio del tiempo, y se mapea o transforma a su representación en el dominio de la frecuencia como se muestra en la Ecuación (7). Donde $y[k]$ es el desplazamiento en alguno de los ejes y $W[k_n^j, k]$ es el factor complejo de transformación del algoritmo de la FFT para frecuencias positivas y negativas [10].

La longitud del espectro de frecuencia es N ; no obstante, debido a que el vector obtenido por la DFT es compleja

y simétrica para las frecuencias positivas y negativas, se procede a recuperar el valor absoluto de la mitad del vector que contiene la parte positiva de las frecuencias. Esta salida es llamada *single-sided*. Obteniendo el número de *bins* efectivo en unidades de Hz, que en este caso con un desbalance inducido de 20 gramos es 3 Hz. Finalmente, para tener una representación sin la componente de DC se iguala a cero la magnitud del primer bin del vector.

$$Y[i] = \sum_{k=0}^{N-1} y[k] W_N^{jk} \quad (7)$$

Además, la longitud N debe ser múltiplo de 2^n , de forma que se compute adecuadamente en el algoritmo de DFT. En caso contrario, cualquier software de cómputo para análisis numérico agrega p ceros en el vector de entrada (zero-padding) de forma automática, incrementando así el costo computacional de $N \log_2 N$ a $pN \log_2 pN$ [11]. La diferencia en el tiempo de cómputo entre ambas posibilidades es de un par de segundos en computadores actuales, pudiendo ser despreciable; sin embargo, se realiza esta consideración en el método para futuras implementaciones en sistemas portables.

En la Figura 10 se puede ver la frecuencia fundamental y su primer armónico, se puede notar que no es exactamente el doble de la frecuencia fundamental, esto se atribuye al derrame espectral del algoritmo DFT, sin embargo conserva suficiente similitud con el espectro de vibración típico para una falla tipo desbalance [9].

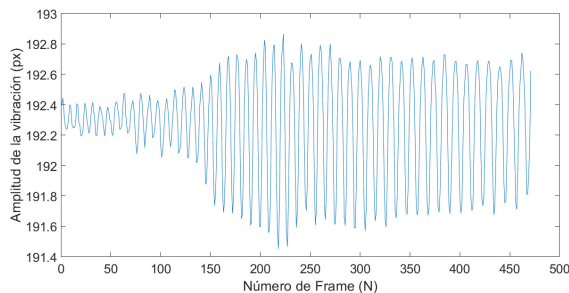


Figura 9: Gráfica de la vibración vertical obtenida

V. Conclusiones

Como resultados obtenidos, se presenta un método para obtener el espectro frecuencial correspondiente a una vibración mecánica, como parte del sistema de predicción de fallas en maquinaria. El método propuesto consiste en los siguientes pasos: adquisición del video, extracción de imagen, conversión a grises, umbralado, filtrado, etiquetado, extracción de patrones, almacenamiento, conversión del dominio de frecuencia y presentación gráfica de los

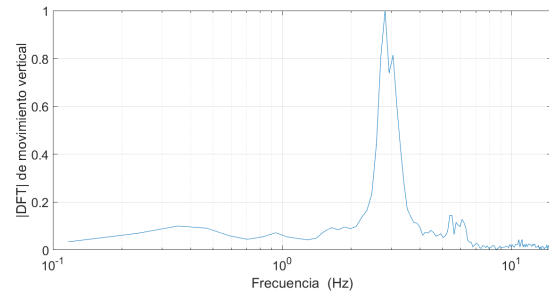


Figura 10: Espectro frecuencial de la vibración vertical obtenida

resultados. Se obtienen también los espectros frecuencial y temporal característicos de una falla mecánica por desbalance que son los que presentan la menor frecuencia de vibración a través del análisis de imágenes, y se logró la implementación de un transductor óptico para detectar vibraciones mecánicas.

Una ventaja del método empleado consiste en que utiliza etiquetas reflejantes adheribles en lugar de costosos sensores como lo son los palpadores o acelerómetros, además de no ser invasivo evitando así, errores de medición debidos a problemas de sujeción. Por otro lado la principal limitante que presenta el método, es que depende de la velocidad del sensor CCD en la captura de cuadros por segundo, debido a esto, el presente trabajo se enfoca solo en fallas que presentan bajas frecuencias de vibración.

Como trabajo a futuro se propone analizar fallas mecánicas que presenten frecuencias de vibración mayores, como son fallas en rodamientos, además de verificar si el método es aplicable en dichos casos. También se puede hacer clasificación automática de los espectros obtenidos empleando algoritmos de Inteligencia Artificial.

Agradecimientos

Gracias a la Universidad Tecnológica de Puebla en el proyecto denominado “Sistema de Visión para la Detección de Desbalance sobre Neumáticos Automotrices”, aprobado el 25 de febrero del 2022, por facilitar los recursos necesarios para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] GENARO Mosquera, M De la Victoria y R Armas. «Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo». En: *Centro de Altos Estudios Gerenciales ISID. Caracas* (2001).
- [2] Liu Ruonan. *Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: A review*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0888327018300748?via%3Dihub>.

- [3] Lin Jieqiong. *Modeling and experimental analysis on the effect of carrier aircraft vibration on the imaging quality of an aspherical aerial camera*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030402621002953?via%3Dihub>.
- [4] Roberto Del-Sal. *Structural vibration measurement with multiple synchronous cameras*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0888327021001370>.
- [5] Muthukrishnan R. «Edge Detection Techniques For Image Segmentation». En: *International journal of computer science and information technology* 3 (dic. de 2011), págs. 259-267. DOI: 10.5121/ijcsit.
- [6] A.M Raid y col. «Image Restoration Based on Morphological Operations». En: *International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology* 4 (jul. de 2014), págs. 9-21. DOI: 10.5121/ijcseit.2014.4302.
- [7] Sánchez Solano Calvo Gallego Brox P. «Un algoritmo en tiempo real para etiquetado de componentes conectados en imágenes». En: *En XVIII International IBERCHIP Workshop Playa del Carmen, México*, (2012).
- [8] Renato Salinas Silva. «Orientación y centroide de un objeto digitalizado». En: (2018).
- [9] G. Betta y col. «A DSP-based FFT-analyzer for the fault diagnosis of rotating machine based on vibration analysis». En: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 51.6 (2002), págs. 1316-1322. DOI: 10.1109/TIM.2002.807987.
- [10] AJAA Bekele. «Cooley-tukey fft algorithms». En: *Advanced algorithms* (2016).
- [11] Khalid Aamir, Mohammad Maud y Asim Loan. «On Cooley-Tukey FFT method for zero padded signals». En: vol. 2005. Oct. de 2005, págs. 41-45. ISBN: 0-7803-9247-7. DOI: 10.1109/ICET.2005.1558852.

Return on investment of photovoltaic systems and CO_2 reduction in commercial and residential areas

Retorno de inversión de sistemas fotovoltaicos y reducción de CO_2 en comercios y en residencias

Luis Climent Arredondo^{*1}, Jesús G. Vega-Taboada¹, María L. Gómez Santos¹, and José A. Martínez Bautista¹

¹ Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo (UTNL),

Cuerpo Académico de Energías Renovables Área Energía Solar,

Blvd. Universidad 3302, Fracc. Oradel, 88205 Nuevo Laredo, Tamaulipas, México.

{lcliment, jvega}@utnuevolaredo.edu.mx, marializbethgomez@hotmail.com, joseangel-mtz@live.com

Abstract

The objective of this study was to determine the reduction of carbon dioxide (CO_2) that can be obtained through the implementation of photovoltaic systems. As a study sample, surveys were conducted and applied in Nuevo Laredo. Residential and commercial areas were considered in order to determine the CO_2 reduction they would have if photovoltaic systems were implemented to cover the required energy demand. The estimated consumption in small businesses was 1.2-kilowatt hours (kW/h) and in medium-sized businesses it was 2.1 kW/h. In the residential area, it was determined that an average home consumes 291.7 kW/h bimonthly, and this results in an emission of 0.9313 tons of carbon dioxide equivalent (tCO_2e). With the data obtained, it was estimated that if photovoltaic systems were implemented throughout the city, a reduction of 111,765.6 tCO_2e could be achieved in a bimonthly period; without a doubt, this figure offers a clear idea of the benefit this would bring to the environment.

Keywords— Carbon dioxide, energy demand, photovoltaic system

* Autor de correspondencia

Resumen

En el presente estudio se tuvo como objetivo determinar la reducción de dióxido de carbono (CO_2) que se puede obtener mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos. Como muestra de estudio se realizaron encuestas que fueron aplicadas en Nuevo Laredo, se consideraron las áreas residenciales y comerciales para así determinar cuál sería la reducción de CO_2 que tendrían si se implementan sistemas fotovoltaicos para cubrir la demanda energética requerida. El consumo estimado en pequeños comercios fue de 1.2 kilowatt hora (kW/h) y de los comercios medianos fue de 2.1 kW/h. En el área residencial se determinó que una vivienda promedio consume 291.7 kW/h bimestralmente y esto da lugar a una emisión de 0.9313 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e). Con los datos obtenidos se estimó que si en toda la ciudad se implementaran sistemas fotovoltaicos se podría tener una reducción de 111,765.6 tCO_2e en un bimestre, sin duda esta cifra ofrece una idea clara del beneficio que esto aportaría al medio ambiente.

Palabras clave— Demanda energética, dióxido de carbono, sistemas fotovoltaicos

I. Introducción

A partir de la llegada de la revolución industrial, la combustión de productos orgánicos derivados del petróleo se ha incrementado y a esto se puede agregar la gran proporción del nivel de concentración de

dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera del planeta [1]. Durante los últimos 800 años, las acumulaciones de CO_2 en la atmósfera, nunca habían llegado a las 300 partes por millón (ppm). Sin embargo, esa cifra se superó por primera vez en 1950 y no ha terminado de incrementarse desde ese entonces [2].

Todos los días se liberan grandes cantidades de CO_2 al hacer uso de combustibles fósiles, mediante el consumo de la gasolina, carbón, gas natural y petróleo, lo que incrementa el efecto invernadero. El equilibrio natural que ha existido durante miles de años se ha roto y el uso irracional de los combustibles fósiles es lo que aumenta la temperatura a cada segundo.

Los tres tipos de combustibles fósiles más utilizados son: el carbón, el petróleo y el gas natural. Al producirse la combustión, el carbón contenido es devuelto casi en su totalidad como CO_2 . Se valora que 2/3 partes de las emisiones de CO_2 , tienen su origen en la quema de combustibles y la parte restante de 1/3 producto de la utilización del suelo, es decir la deforestación. De manera que, del total de lo expedido, el 45 % reside en la atmósfera, el 30 % es absorbido por los océanos, mientras que el restante pasa a la biosfera terrestre con un 25 % del total.

En los datos de la actualización de 2020 de la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC, debido a sus siglas en inglés) en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas, se estimó que, solo México, emitió 804 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($MtCO_2e$) de gases de efecto invernadero (GEI) y a nivel global respecto a emisiones, esto representa alrededor del 1.3 % [3]. Con los datos expuestos se demostró, que un incremento en la concentración de los GEI puede alterar el flujo natural de energía, ya que, a mayor cantidad de gases presentes en la atmósfera, el resultado es una mayor cantidad de calor absorbido por el planeta y por consiguiente se eleva la temperatura, dando lugar al calentamiento global [4].

México como país, dentro del Acuerdo de París de 2015, respaldó diferentes objetivos, con el fin de reducir sus emisiones nacionales de GEI y limitar el calentamiento global a no más de $2^\circ C$. Todas las naciones que se afiliaron a este acuerdo se comprometieron a elaborar un documento con el nombre de: NDC. Con esto en marcha los esfuerzos de cada país serían más fuertes y apegados para adaptarse a los efectos del cambio climático y reducir la generación de emisiones a nivel nacional [5].

El compromiso de México en el NDC fue disminuir de manera no condicionada el 51 % de las emisiones de carbono negro al 2030 por debajo de la línea base tendencial y el 22 % de las emisiones de GEI, así como también a alcanzar el pico de emisiones en el año 2026 y que vaya en disminución [6].

El objetivo de realizar un dimensionamiento fotovol-

taico y el cálculo de las emisiones generadas de CO_2 de una vivienda promedio, es tener una herramienta como guía que oriente las acciones necesarias, con el fin de mejorar la calidad del aire en la entidad. La centralización de usuarios que muestra el sector residencial, lo transforma en uno de los sectores con mayor susceptibilidad a la implementación de nuevas reformas, políticas y proyectos que podrían originar cambios en varios de los determinantes de su demanda [7].

Tamaulipas, una de las treinta y dos entidades federativas de México, ha presentado demandas energéticas que se han ido incrementado de manera importante en las últimas décadas, y es primordialmente por el crecimiento económico, demográfico y los hábitos de consumo, siendo el estado número trece con más habitantes en todo México [8].

Así que, si se quiere incentivar el cuidado del recurso energético y por consecuencia el del medio ambiente, se debe promover el desarrollo en la industria de generación de electricidad para ser más eficiente y crear programas que incentiven la toma de conciencia y cultura de ahorro de la energía eléctrica en los hogares de la región [9].

El municipio de Nuevo Laredo en el estado de Tamaulipas genera contaminación de partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$), originado principalmente de los caminos pavimentados y no pavimentados [10]. Además, destaca también por la generación de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono, provenientes de vehículos automotores primordialmente.

Derivado del calentamiento global y el cambio climático también se han presentado fenómenos irregulares como la tormenta acontecida el 18 de mayo del año 2021, que ocasionó fuertes afectaciones como inundaciones, la destrucción parcial de veintidós edificaciones, afectando a 157 mil 228 viviendas, dañando once líneas de transmisión, 472 postes, cincuenta y tres transformadores de distribución energética, 201 líneas reventadas y una antena de comunicación.

En consecuencia, la demanda energética en la localidad de Nuevo Laredo es grande y desde los acontecimientos planteados, se presentan continuamente interrupciones eléctricas en diversos sectores de la ciudad. Para incentivar la competitividad energética en el campo empresarial se realizó el primer foro en el 2017, con el nombre "Beneficios regionales sobre la reforma energética", organizado por el Gobierno local mediante la Secretaría de Desarrollo Económico en coordinación con iniciativa privada y organismos civiles [11].

En los últimos años, la economía ha provocado que el uso de la energía eléctrica sea cada vez más costoso. Por varios años, se ha mantenido la ideología que usar módulos fotovoltaicos incluye una fuerte inversión en relación con su eficiencia, pero esta tecnología ha

evolucionado constante y significativamente para bien, logrando disminuir su costo de fabricación y aumentado su eficiencia [12]. La energía solar fotovoltaica ya forma parte de un nuevo cambio que además de ser necesario y amigable con el medio ambiente; también es la energía que contribuye al desarrollo sostenible.

II. Sistema fotovoltaico

Las instalaciones fotovoltaicas permiten sacar provecho a la energía generada por la radiación solar, gracias a que los módulos fotovoltaicos son los encargados de captar la radiación y convertirla en energía eléctrica continua, después el inversor se encarga de transformarla en alterna para su consumo. Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos tipos: aislados de la red eléctrica e interconectados a la red eléctrica [13].

Una instalación fotovoltaica aislada de la red eléctrica, la cual no se encuentra con conexión a la red eléctrica, la energía generada se consume en el mismo sitio en donde se genera, lo que evita la dependencia a la red. Es la opción ideal para las viviendas o negocios aislados de la urbanización, por ejemplo, las granjas, ya que resulta más económico y sostenible.

La instalación fotovoltaica, interconectada a la red se distingue por estar interconectada de manera permanente a la red eléctrica, la cual prioriza el autoconsumo usando la energía de la instalación solar. Lo que diferencia una instalación de otra, dentro de este tipo de interconexión, es la gestión de los excedentes, en otras palabras, la energía generada que no es consumida por el usuario será inyectada en la red eléctrica.

En el área de las instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red, se reparte en tres grupos de aplicaciones, de acuerdo con los rangos de potencia [14]:

1. Instalaciones fotovoltaicas para el sector residencial, que manejan un rango de potencia entre 1 y 15 kilowatts potencia (kWp).
2. Instalaciones fotovoltaicas comerciales, industriales y/o en oficinas, con un rango de potencia entre 5 y 250 kWp.
3. Instalaciones fotovoltaicas en plantas centralizadas, con un rango de potencia entre 100 kWp y 10 MWp.

Para cada instalación es indispensable el uso de módulos fotovoltaicos, pero existen diferentes tipos, de acuerdo con los materiales empleados, los procesos de fabricación y la estructura final [15], entre los principales a destacar se encuentran los siguientes:

1. Módulo de silicio puro monocristalino. - Fundamentados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado conformado en una sola pieza. Se han alcanzado en el área de laboratorio rendimientos máximos del 24.7%.

2. Módulo de silicio puro policristalino. - En este tipo de módulo, el proceso de cristalización del silicio se basa en secciones de una barra de silicio que se distribuyen en forma desordenada de cristales pequeños. Se destacan a simple vista por tener una superficie de aspecto granulado, con un rendimiento menor a los del tipo monocristalino de un 19.8 % y 14 % en módulos comercializados.

A través del manejo del silicio con otras estructuras o materiales semiconductores, es probable conseguir módulos más delgados que permiten su adaptación a superficies irregulares en algunos casos, denominados así módulos o paneles de lámina delgada, entre los que destacan:

1. Módulo de silicio amorfo. - En este tipo de módulos, el silicio no consigue la estructura cristalina, por lo que habitualmente son empleados para dispositivos electrónicos de tamaño pequeño, como por ejemplo las calculadoras. El rendimiento máximo alcanzado en laboratorios ha sido de 13 % y 8 % en módulos comercializados.
2. Módulo de telurio de cadmio. - Con un rendimiento del 16 % en laboratorios y 8 % en módulos comercializados.
3. Módulo de arseniuro de galio. - Cuenta con el material más eficiente, con rendimiento de 25.7 % en laboratorios y 20 % los comercializados.
4. Módulo de diseleniuro de cobre de indio. - Con un rendimiento alrededor de 17 % en laboratorios y del 9 % en los comercializados.

Aumentar el uso de módulos fotovoltaicos es un reto a nivel mundial, mediante la planificación, la observación de oportunidades y la acción de cambios es posible lograrlo.

III. Consumo energético en el sector comercial

En México, existían alrededor de 4.2 millones de micro y pequeñas empresas al año 2020, y representaban un 52 % en el producto interno bruto, ya que generaban el 70 % de empleos formales en el país [16].

Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en temas de ingresos por comercio al por mayor de mercancías provenientes de negocios pequeños y medianos en el 2018, los establecimientos de abarrotes tuvieron ingresos por compra-venta de \$20,264,644 MXN, en materiales para la construcción metálicos con ingresos de \$11,276,050 MXN, en ferreterías con \$62,910.277 MXN y en artículos de papelería con \$20,904,296 MXN [17].

Mediante encuestas, a través de la empresa GENERGY se obtuvo el consumo energético a partir del recibo de energía eléctrica de 10 micro y medianas empresas, estas

se clasificaron en P para microempresas y M para empresas medianas, y fueron nombradas iniciando con la letra A siguiendo el abecedario y anteponiendo P o M , con los consumos promedios de los periodos registrados se elaboró la Tabla 1.

Para las pequeñas empresas los consumos fueron desde 0.39 kWh promedio hasta 1.22 kWh promedio para el más alto. Dos promedios cercanos a un kWh promedio fueron de 0.92 y 0.99 kWh promedio, respectivamente.

En las empresas medianas el consumo promedio más alto fue de 2.16 kWh promedio y el más bajo fue 1.48 kWh promedio. Los otros dos resultados fueron muy cercanos dando 1.72 y 1.8 kWh promedio.

Los módulos fotovoltaicos tomados como referencia presentan las siguientes especificaciones técnicas: voltaje en circuito abierto (V_{oc}) 49.9 V, corriente en corto circuito (I_{sc}) 14 A y una potencia máxima (P_{max}) de 550 W.

Por lo que basados en la Ley de Watt para obtener la potencia donde W es igual a potencia, I es intensidad de corriente y V para voltaje tenemos:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Sustituyendo con los parámetros del módulo fotovoltaico se tiene:

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \quad (2)$$

En el caso de la conexión en serie de módulos fotovoltaicos se tiene que la potencia total P_t es igual a la suma de las potencias de un circuito en serie y se representa con la siguiente ecuación:

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (3)$$

Sustituyendo con las especificaciones del módulo de muestra se tiene que:

$$\begin{aligned} P_t &= 550W + 550W \\ P_t &= 1100W \end{aligned}$$

Conociendo la fórmula para obtener el promedio en kWh tenemos que:

$$\text{Promedio}_{CE} = \frac{\sum \text{Consumos bimestrales Wh}}{\text{No. de bimestres} \times 1000} \quad (4)$$

Como se muestra en el ejemplo de la tienda $P - A$ se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Promedio}_{P-A} &= \frac{1334 + 1098 + 886 + 894 + 1428 + 1525}{6 \times 1000} \\ \text{Promedio}_{P-A} &= \frac{7165}{6000} \end{aligned}$$

$$\text{Promedio}_{P-A} = 1.19 \text{ kWh}$$

Con estos resultados se obtuvo que dos módulos fotovoltaicos de 550 W conectados en serie cubren fácilmente 1.1 kWh, se puede observar que algunas tiendas no demandan ni un kW de potencia por lo que es probable que con un sistema más robusto puedan incluso cubrir hasta el 99 % durante el día.

En la actualidad existen distintos módulos fotovoltaicos en el mercado y algunos fácilmente generan entre 500 W y 600 W, entre los que se pueden encontrar en México se tienen: SUNPOWER con una potencia de 510 W, LONGI con una generación de potencia de 550 W, TRINASOLAR que actualmente tiene una generación de potencia de 600 W.

Lo anterior se estipula en caso de tener una producción óptima del sistema fotovoltaico, sin embargo, sabemos que el clima es un factor crucial en la generación del panel solar, cuando se presenta algún tipo de nubosidad el sistema rinde hasta un 50 %, esto debido a la radiación difusa y a la radiación solar que se refleja en la superficie.

Al final del bimestre se realiza una resta simple, la diferencia entre los kW/h consumidos y los kW/h generados. Si el cliente consume más de lo que produce, únicamente paga la diferencia del cálculo anterior, y si produce más de lo que consume paga únicamente el mínimo establecido, que oscila los \$50.00 pesos MXN en tarifa Pequeña Demanda en Baja Tensión (PDBT), mientras que en Gran Demanda en Media tensión Horaria GDMTH y GDMTO se encuentra arriba de los \$600.00 pesos MXN. Para observar como actúa el sistema fotovoltaico, al cliente se le entrega un monitoreo, dependiendo del tipo de inversor o micro inversor, se le crea un usuario en la aplicación correspondiente para que pueda observar cuanto produce por día y en tiempo real.

La inversión más accesible es de \$27,000.00 MXN con una reducción del 26 % anual en las tarifas del suministrador de energía eléctrica. El precio incluye instalación eléctrica, dos paneles solares, un inversor o micro inversor, estructura y el trámite ante Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el medidor bidireccional. Para la inversión de más alto costo la tasa interna de retorno a veinticinco años es de 32 % y una ganancia acumulada de \$504,914.00 MXN a quince años como se puede observar en la Tabla 2.

Las tiendas comerciales pequeñas se pueden encontrar en tarifa PDBT o Domestica de Alto Consumo (DAC) en caso de tener alto consumo, sin embargo, en empresas medianas o más grandes en tarifa GDMTH o GDMTO requieren por normativa de la NOM-001-SEDE de una Unidad de Inspección de la Industria Eléctrica (UIIE) y una Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIEE) obligatoria para poder realizar el trámite con CFE. El costo se encuentra en los \$70,000.00 pesos MXN,

Tabla 1: Consumo energético en kWh por día en un periodo bimestral

Empresa	Feb- Abr	Abr- Jun	Jun- Ago	Ago- Oct	Oct- Dic	Dic- Feb	Consumo Total	Consumo Promedio	Paneles
Tienda P-A	1334	1098	886	894	1428	1525	7165	1.19	2
Tienda P-B	550	820	350	421	280	420	2841	0.47	1
Tienda P-C	530	750	680	602	600	512	3674	0.61	1
Tienda P-D	816	1121	1045	1245	889	754	5870	0.98	2
Tienda P-E	950	1025	1027	857	997	852	5708	0.95	2
Tienda P-F	301	506	589	725	480	625	3226	0.54	1
Tienda M-A	1049	1254	1851	1985	1548	1263	8950	1.49	3
Tienda M-B	1812	2155	1996	1754	1601	1476	10794	1.80	4
Tienda M-C	1354	1472	2150	1699	1669	1896	10240	1.71	3
Tienda M-D	2254	2570	2579	2100	1657	2678	13838	2.31	5
							72306	1.21	2

Tabla 2: Costo de la instalación por kW

Sistema	Costo	Ahorro anual	TIR a 25 años	Ganancia 15 años
1 kWp	\$27,000	26 %	34 %	\$143,562
2 kWp	\$54,000	53 %	35 %	\$295,354
3 kWp	\$81,000	79 %	35 %	\$444,146
4 kWp	\$108,000	92 %	32 %	\$504,914
Sin sistema	-	0	0	0

Tabla 3: Consumo kWh promedio anuales

Consumos por 1 kWh promedio	
kWh anuales	4,085
Precio promedio × kWh	\$2.46 MXN
Pago promedio bimestral	\$1,677.26 MXN
Pago Total Anual a CFE	\$10,063.59 MXN

después con la generación de CO₂ que se puede evitar, adaptando el uso de sistemas fotovoltaicos en área residencial, como se puede ver en la Tabla 4.

incluye gestoría, memorias de cálculo y los dictámenes correspondientes, además cabe mencionar que el medidor bidireccional para esas tarifas de media tensión no lo provee CFE, por lo que se debe comprar aparte, y se encuentra en \$30,000.00 pesos MXN, todo ese gasto se le debe sumar al costo del sistema fotovoltaico.

IV. Consumo energético en el sector residencial

Según el último censo del INEGI en 2020 la población total de Nuevo Laredo era de 425,058 habitantes, siendo 50.8 % mujeres y 49.2 % hombres. Se registró que 12.8 % de las viviendas concentró a jefes de hogar entre 45 a 49 años, el registro total en Nuevo Laredo Tamaulipas México fue de 120,000 viviendas [18].

Para el presente estudio se aplicaron 50 encuestas en sectores de la ciudad y los consumos de una vivienda promedio con base en el análisis fueron desde 200 kWh a 300 kWh en el recibo de CFE más actual del mes de marzo del 2022, tomándolo como muestra promedio estándar del estudio. En la Tabla 3 se presenta el resumen de los consumos dentro del rango del promedio anual.

Al realizar el cálculo fotovoltaico, se tomó en cuenta el 99 % de la generación del consumo, para compararlo

Tabla 4: Dimensionamiento fotovoltaico

Sistema	Pago bi- mestral promedio	Ahorro en el pago anual	TIR a 25 Años	Recuperación de la Inver- sión (años)
3.0 kWp	\$46.00	97 %	11.2 %	6.32
Sin Sis- tema	\$1,677.26	0 %	0 %	0

Si el sistema fotovoltaico se implementa, la cuota de \$1,677.26 MXN se reduce a \$46.00 MXN; abarcando el 99 % del consumo normal en la vivienda. Por otro lado, en el caso de no implementar el sistema se seguiría pagando \$1,677.26 MXN por cada recibo si se promedia a una muestra bimestral estándar y se siguen generando emisiones de CO₂, tomando en cuenta que el consumo es variable durante el año. A continuación, en la Tabla 5 se muestra la generación total de CO₂ generado por el uso de energía eléctrica.

Para la tabla anterior se tiene como referencia que: 1,000 kWh $\dot{0}.456 tCO_2e$. A manera de ejemplo se pue-

Tabla 5: Generación total de tCO₂ por uso de energía eléctrica

Datos	kWh consumidos	tCO ₂ e generadas (mínimo) bimensual	tCO ₂ e generadas (mínimo) anual
Dato EPA	1000	0.456	2.736
Dato recibo	267	0.121752	0.730512

de decir que la cifra corresponde aproximadamente al volumen de una piscina de las siguientes dimensiones: $10m \times 25m \times 2m$, que equivale a una piscina de unos 500 metros cúbicos (m^3) [19]. En este caso se llenaría una piscina de $500 m^3$, dado que el mínimo es de 0.73 tCO₂e, cerca del 1.0 tCO₂e generadas anualmente, por vivienda.

Para resolver el problema de las emisiones generadas por el uso de la energía eléctrica convencional, se propone el siguiente dimensionamiento fotovoltaico, en referencia al recibo de análisis utilizado en este caso. En la Figura 1 se presenta el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico interconectado a la red de una vivienda.

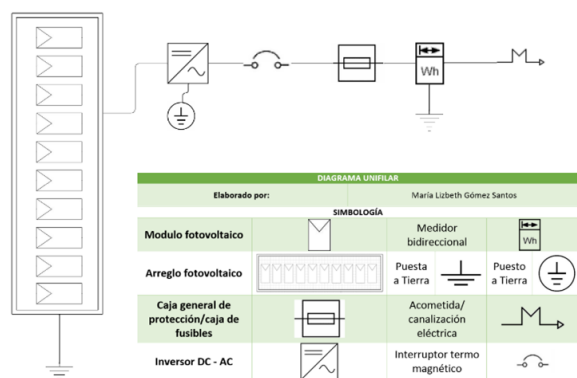


Figura 1: Diagrama unifilar

El módulo fotovoltaico utilizado fue el modelo JAM60S03 300/PR abarcando 10 piezas totales y un inversor modelo Sunny Boy 3.0-US.

Comparando los datos del antes y después del análisis sobre la adquisición de un sistema fotovoltaico en área residencial, se obtuvo que bimestralmente de los \$1,667.26 MXN de tarifa solo se pagarían \$46.00 MXN ya con el sistema instalado, debido a una cotización sugerida, sin importar la temporada del año y no alterando sus hábitos de consumo eléctrico. Sin el sistema fotovoltaico se tendría una generación de 0.11752 tCO₂e, véase la Tabla 6. Mientras que en el análisis anual el pago de la tarifa es de \$10,063.59 MXN y se tendría una reducción a \$276.00 MXN con la reducción de 0.73512 tCO₂e como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 6: Análisis bimensual de la instalación

Antes		Después	
Pago a CFE, promediado (MXN)	tCO ₂ mínimo generado	Pago a CFE, promediado (MXN)	tCO ₂ mínimo generado
\$1,677.26	0.11752	\$46.00	0

En la Tabla 7 se presentan los resultados del análisis anual que se obtendría después de la instalación.

Tabla 7: Análisis anual de la instalación

Antes		Después	
Pago a CFE, promediado (MXN)	tCO ₂ mínimo generado	Pago a CFE, promediado (MXN)	tCO ₂ mínimo generado
\$10,063.59	0.730512	\$276.00	0

Según datos del censo Poblacional 2020, el registro en Nuevo Laredo fue de 120,000 viviendas en total y con los datos obtenidos de la generación de CO₂ en vivienda promedio se puede realizar el cálculo bimestral mediante el producto vivienda por generación de CO₂ equivalente, esto da como resultado 14,102.4 tCO₂e que se reducen. Mientras que con los datos obtenidos de la generación de CO₂ en vivienda promedio se puede realizar el cálculo anual mediante el producto vivienda por generación de dióxido de CO₂ equivalente, esto da como resultado 35,171,422.4 tCO₂e que se reducen tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: kWh reducidos y tCO₂e proyectados en Nuevo Laredo

Periodo	tCO ₂ prevenidos	kWh reducidos
Bimestral	111,765.6	35,014,285.2
Anual	1,341,187.2	420,171,422.4

Con la adquisición de sistemas fotovoltaicos con interconexión a la red se obtiene un ahorro de hasta un 80 % en el recibo de energía eléctrica, esto trae consigo la protección sobre los incrementos a la tarifa eléctrica, es un consumo amigable con el medio ambiente además de darle plusvalía al hogar con un diseño moderno y sustentable.

V. Resultados

V.1. Resultados para el área comercial

Los costos para un sistema fotovoltaico en el área comercial rondan hasta los \$108,000.00 MXN para el 99 % de ahorro, incluyendo todos los preparativos, para un consumo anual de 5,441 kWh, con un pago promedio de \$3,490.29 MXN bimestrales, el pago anual promedio de \$20,941.74 MXN. En la Figura 2 se simula el comportamiento del ahorro en las tres opciones que se presentaron. La primera barra muestra el consumo anual sin utilizar paneles solares, la segunda barra muestra un sistema de 1.0 kWp, con un ahorro aproximado del 30 % durante un año, y en la tercera barra se muestra un sistema de 2.0 kWp con un ahorro del 50 % durante el año.

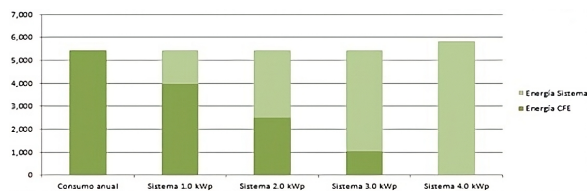


Figura 2: Consumo energético con paneles solares

La cuarta barra muestra un ahorro del 90 % con un sistema de 3.0 kWp y la última es del 99 % con 4.0 kWp equivalente a 8 paneles solares, recordemos que no es posible tener un ahorro del 100 %.

Además del ahorro energético, se tiene las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de la energía no renovable por lo que también hay una disminución de la contaminación del aire con la energía solar fotovoltaica, lo equivalente de 1,000 kWh $\dot{0}.456 tCO_2e$, el estimado de toneladas emitidas en un año, se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Toneladas de emisiones de dióxido de carbono anual kWh reducidos y tCO_2e prevenidos

Empresa	Consumo total kWh	Emisión tCO_2e
Tienda P-A	3648	1663.49
Tienda P-B	1180	538.08
Tienda P-C	1810	825.36
Tienda P-D	2750	1254.00
Tienda P-E	2974	1356.14
Tienda P-F	1370	624.72
Tienda M-A	4448	2028.29
Tienda M-B	5409	2466.50
Tienda M-C	5173	2358.89
Tienda M-D	6490	2959.44

V.2. Resultados para el área residencial

Los consumos de una vivienda promedio fueron desde 200 kWh a 300 kWh en el recibo más actual del mes de marzo del 2022, de acuerdo con las encuestas realizadas a través de la empresa GENERGY a 50 viviendas. Mientras que con el caso del recibo de análisis se obtuvo un consumo de 4,085 kWh anualmente con el pago de \$1,677.26 MXN. Véase en la Tabla 10.

Tabla 10: Antes y después de la adopción de un sistema fotovoltaico interconectado a la red del caso de análisis área residencial

Periodo	Antes		Después	
	Pago MXN	tCO_2e generado	Pago MXN	tCO_2e generado
enero-marzo promedio bimestral	\$280.00	0.11752	\$46.00	0
Anual	\$1,677.26	0.93138	\$46.00	0
Anual	\$10,062.15	11.17	\$276.00	0

Al realizar el cálculo fotovoltaico, se tomó en cuenta en este caso de análisis, el 99 % de la generación del consumo, para compararlo después con la generación de CO_2 que se puede evitar.

Adaptando el uso de sistemas fotovoltaicos en área residencial, con costo de \$81,000.00 MXN en caso particular, incluyendo todos los preparativos. Se obtuvo como resultado que al adquirir un sistema fotovoltaico la cuota de \$1,677.26 MXN se reduce a \$46.00 MXN en cada recibo.

Esto indica que solo se pagaría por el servicio de la CFE; abarcando el 99 % del consumo ideal ya que a efectos prácticos el rendimiento de los módulos fotovoltaicos será menor por factores no controlables como el clima, nubosidades o fallos en la red que impiden la interconexión, pero generando una producción mayor a 80 % en los módulos fotovoltaicos durante 25 años de vida útil.

Por otro lado, en el caso de no implementar el sistema se seguiría pagando \$1,677.26 MXN por cada recibo, continuando con la emisión mínima de 0.11752 tCO_2 , en el mes de marzo, y 0.93138 tCO_2 en términos generales del caso de análisis bimestralmente.

La adopción de la energía solar fotovoltaica es una gran opción, ya que tiene una vida útil de 25 años y una inversión recuperable entre el segundo y tercer año, además reduce los gastos por consumo de electricidad, se genera energía eléctrica gracias al sol que es inagotable y se demuestra el compromiso de la sustentabilidad y el medio ambiente.

VI. Conclusiones

En el análisis del consumo energético de las tiendas comerciales, algunas si requerían una demanda promedio del 50 % e incluso mayor, sin embargo esto era con las que tenían un consumo menor, mientras que las que tenían un consumo mayor se necesitaba de un 30 % para su consumo promedio, por lo que se puede concluir que la demanda energética promedio está entre un 30 % y 50 %, con las instalaciones propuestas se podrá tener un ahorro considerable en su gasto bimestral también se puede llegar a reducir a más de 10,000 toneladas de gases de efecto invernadero, y será una inversión más accesible con un retorno de inversión mínimo a tres años, sin la necesidad de cubrir la totalidad de la demanda energética.

Adquirir un sistema fotovoltaico interconectado a la red para el área residencial, fomenta cultura energética y apreciación al medio ambiente, ya que se reduce el consumo energético y la emisión contaminante de CO₂. Es por eso por lo que se mostraron los resultados del antes y después de adoptar un sistema fotovoltaico en residencia, en donde en el caso de análisis se pagaba un promedio general de \$1,677.26 MXN y después de implementar el uso de un sistema fotovoltaico el pago a CFE fue de \$46.00 MXN, evitando 0.11752 tCO₂e tan solo en el bimestre de enero a marzo. Y de manera general promediado 0.93138 tCO₂e por bimestre en una vivienda promedio, siendo 11.17656 tCO₂e anuales que se reducen de las emisiones al medio ambiente y que en reducción de energía eléctrica son 4,085 kWh.

Si en todo Nuevo Laredo se adquiriera el uso de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, se evitaría un promedio de 111,765.6 tCO₂e por bimestre respecto a la muestra estándar tomada del año 2022, pero por lo menos si una vivienda adquiere un sistema evitaría 0.93138 tCO₂e por el mismo periodo, lo que da a la reducción de un 8.34 % al total de emisiones generadas por el uso de energía eléctrica proveniente de energías no renovables.

Agradecimientos

Gracias a la empresa GENERGY por las facilidades brindadas para la aplicación de encuestas tanto en el área comercial y residencial, así como con la utilización de su software para realizar los dimensionamientos fotovoltaicos.

Referencias

- [1] Yolanda Benito. *Co 2 y cambio climático*. 2016. URL: <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2016-17/Guia%20introdutoria%20al%20tema%20CO2%20y%20cambio%20climatico.pdf> (visitado 01-02-2022).

- [2] Ediciones EL PAÍS. *El CO2 en el cambio climático | La Cumbre del Clima en EL PAÍS*. EL PAÍS, abr. de 2019. URL: <https://elpais.com/especiales/2019/el-co2-en-el-cambio-climatico/> (visitado 30-01-2022).
- [3] Guillermo Cárdenas et al. *México | Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y acciones de mitigación y adaptación*. Ago. de 2021. (Visitado 26-07-2022).
- [4] Emmanuel Argüelles Ledesma y Graciela Solís González. *El Calentamiento Global*. docplayer.es, 2016. URL: <https://docplayer.es/12346259-El-calentamiento-global-autor-emmanuel-arguelles-ledesma-maestra-graciela-solis-gonzalez-escuela-telesecundaria-19-el-pipila.html> (visitado 31-01-2022).
- [5] Ramses Pech. *¿Qué compromisos tiene México sobre Cambio Climático?* Energía Hoy, feb. de 2021. URL: <https://energiahoy.com/2021/02/08/que-compromisos-tiene-mexico-sobre-cambio-climatico/#:~:text=Centrado%20en%20el%20fortalecimiento%20de> (visitado 09-08-2022).
- [6] Instituto Mexicano para la Competitividad. *10 PROPUESTAS POR UNA AGENDA CLIMÁTICA CON VISIÓN DE ESTADO 2018 - 2024*. Jun. de 2018. URL: <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2018/06/10-PROPUESTAS-CC-VISI%C3%93N-DE-ESTADO-13-06-2018.pdf> (visitado 06-10-2018).
- [7] Jorge Alberto Ortiz-Velázquez et al. «Análisis de la demanda residencial de electricidad en el Estado de México». En: *Economía, sociedad y territorio* 17 (abr. de 2017), págs. 199-223. DOI: 10.22136/est002017644. URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212017000100199#B8 (visitado 02-11-2021).
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Población y Vivienda 2020*. Inegi.org.mx, 2022. URL: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/ResultCenso2020_Tam.docx (visitado 04-02-2022).
- [9] Dionicio Morales-Ramírez et al. «Análisis del consumo de energía eléctrica domiciliar en Tampico, Tamaulipas». En: *CienciaUAT* 8 (jun. de 2014), págs. 62-67. URL: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582014000200062 (visitado 24-08-2023).

- [10] Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno de Tamaulipas. *PROGRAMA DE GESTIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE 2018-2027 DEL ESTADO DE TAMAULIPAS*. 2018. URL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399257/28_ProAire-Tamaulipas.pdf (visitado 04-02-2022).
- [11] Mesa de Redacción. *Incentiva Nuevo Laredo la competitividad de negocios en materia de energía*. HoyTamaulipas, jun. de 2017. URL: <https://www.hoytamaulipas.net/notas/297627/Incentiva-Nuevo-Laredo-la-competitividad-de-negocios-en-materia-de-energia.html> (visitado 04-02-2022).
- [12] RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS. *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA LIMPIA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITS LV*. 2017. URL: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf> (visitado 01-02-2022).
- [13] Endef Solar Solutions. *Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas: ¿Cómo encontrar mi instalación ideal?* Endef, mar. de 2020. URL: <https://endef.com/tipos-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas-como-encontrar-la-ideal-para-mi/> (visitado 24-03-2022).
- [14] Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII. *Introducción a los sistemas fotovoltaicos conectados a red*. Ikaskuntza Plataforma Virtual. URL: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF05/es_IEA_ISF05_Contenidos/website_2_introduccion_a_los_sistemas_fotovoltaicos_conectados_a_red.html (visitado 25-03-2022).
- [15] Pedro Débora y Julio Ferichola. *CARACTERIZACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON DISPOSITIVO PORTÁTIL Tutor*. 2009. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/29400299.pdf> (visitado 27-03-2022).
- [16] Daniel Torres Guzmán. *PyMES en México y su gran aliado en 2021: La transformación digital*. CompuSoluciones, ago. de 2020. URL: <https://www.compusoluciones.com/blog/pymes-mexicanas-en-2020/> (visitado 02-03-2022).
- [17] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Censos Económicos 2019. CE*. Censos Económicos 2019. CE, 2013. URL: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Tabulados> (visitado 02-03-2022).
- [18] Blog de Economía y Finanzas Bankinter. *¿A qué equivale una tonelada de CO₂?* Bankinter, jul. de 2021. URL: <https://www.bankinter.com/blog/mercados/equivalencia-tonelada-co2> (visitado 04-03-2022).
- [19] Bankinter. *¿A qué equivale una tonelada de CO₂? Descúbrelo*. Bankinter, jul. de 2021. URL: <https://www.bankinter.com/blog/mercados/equivalencia-tonelada-co2> (visitado 04-03-2022).