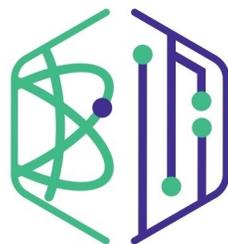


ScientiaTecnológica

Investigación multidisciplinaria de Ingenierías

REVISTA



ÁREAS DE CONOCIMIENTO

- 1 Sustentabilidad y Medio Ambiente
- 2 Biotecnología y Alimentos
- 3 Gestión e Innovación Empresarial

- 4 Procesos Industriales
- 5 Visión Computacional y animación
- 6 Computación y Electrónica



Unidad Académica
ZAPOPAN

Vol. 1 No. 1
Enero Junio
2024



Revista Scientia Tecnológica - Investigación multidisciplinaria en Ingenierías

Volumen 1 - Número 1. Enero - Junio 2024.

Publicación del Tecnológico Superior de Jalisco - Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez

Director Editorial

Mtro. Elliot Jonathan Aguilar Contreras

D.R. Scientia Tecnológica

Hecho En México / Printed In México

La Identificación de esta revista con el nombre de Scientia Tecnológica tiene como objetivos el acercar el conocimiento a la sociedad tecnológica de Jalisco y a la sociedad en general.

SCIENTIA TECNOLÓGICA, es una publicación semestral editada por el Tecnológico Superior De Jalisco - Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel Y Henríquez. Domicilio: Camino Arenero 1101, Col. El Bajío C.P. 45017, Zapopan, Jalisco, México. Tel: 33-3884-9470. scientia.tecnologica@tecmm.edu.mx.

Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. -en trámite-, E-ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Todos los artículos publicados son sometidos a arbitraje por especialistas en el tema mediante el sistema de "pares ciegos". El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 2.5 México

COMITÉ EDITORIAL

Mtra. Iliana Janett Hernández Partida
Directora General

Mtro. Elliot Jonathan Aguilar Contreras
Director de Área Académica, Investigación e Innovación

Dr. Luis Andrés Mejía González
Coordinador de Docencia e Investigación

Mtra. Erica Elizabeth Narváez Vargas
Jefa de Departamento de Investigación y Posgrado

DIRECTOR EDITORIAL

Mtro. Elliot Jonathan Aguilar Contreras

EDITOR TÉCNICO

Dr. Edgardo Martínez Orozco
Mtra. Gisela Ramírez Pimentel
Dr. Luis Escobar Hernández
Dr. Edgar Samid Limón Villegas

COMITÉS INDIVIDUALES

Biotecnología y Alimentos

Cristian Aarón Dávalos Saucedo
Edgardo Martínez Orozco

Computación y Electrónica

Francisco Javier Luis Juan Barragán
Gisela Ramírez Pimentel

Gestión e Innovación Empresarial

Irma Adriana Cantú Munguía
Fabiola Guadalupe Arriaga López

Investigación Educativa

Verónica Judith Gómez Barbosa
José de Jesús Ramírez Sánchez

Procesos Industriales

Jonás Michel Horta

Celerino de Jesús Mendoza Azuara

Sustentabilidad y Medio Ambiente

Laura Izascum Pérez Valencia

Giovanna Rossi Márquez

COMITÉ CIENTÍFICO

Abraham Guerrero Corona
Adolfo Vázquez Ruiz
Alberto Merced Castro Valencia
Alberto Reyes González
Albino Garay De La O
Andrés Enrique Reyes González
Angélica Gutiérrez Limón
Angelica Lucia Vázquez Hernández
Angelina Elena Velarde Diaz
Arturo Xocoyotzin Ibarra Castillón
Beatriz Adriana Esparza Ramírez
Carlos Adolfo Hinojosa Gómez
Carlos Ramírez Ángeles
Carmen Leticia Salcedo Quevedo
Celerino de Jesús Mendoza Azuara
Celina Beltrán Hernández
César Salvador Magaña Martínez
Claudia Estela González López
Cristian Aarón Dávalos Saucedo
Edgar Chávez Medina
Edgar Israel Méndez Pelayo
Edgar Samid Limón Villegas
Edgardo Martínez Orozco
Evangelina González Mora
Fabiola Guadalupe Arriaga López
Fausto Evaristo Leytte Favila
Francisco Javier Luis Juan Barragán
Gabino González Carrillo
Giovanna Rossi Márquez
Gisela Ramírez Pimentel
Hugo Enrique Noriega Pérez
Irma Adriana Cantú Munguía
José de Jesús Iniestra González
Javier Ireta Moreno
Javier Zárata Ruiz
Jonás Michel Horta
Jorge Alberto Cárdenas Magaña

Jorge Robles Grajeda
José Antonio Aguilera Cuevas
José de Jesús Llamas Medina
José de Jesús Ramírez Sánchez
José Jorge Hernández Ochoa
José Luis Ceja Anaya
José Luis González Ortiz
Juan Pablo Mojica Sánchez
Julio César Chávez Novoa
Laura Gabriela Rodríguez Andalón
Laura Izascum Pérez Valencia
Leticia Velarde Peña
Lina Corona Rabelo
Luz Cecilia López Ureta
Marco Vinicio Félix Lerma
Martha Leticia Colmenares Zepeda
Mauricio Rojo Roa
Manuel De Jesús Briones Reyes
Miguel Ángel Delgado López
Miguel Ángel Gallardo Lemus
Miriam Díaz Rodríguez
Myrna Tovar Vergara
Norberto Santiago Olivares
Oswaldo Baltazar Mora
Patricia Gudiño Guevara
Rocío Del Carmen Parra Torres
Rosa María Chávez Camarena
Salvador Barajas Aranda
Salvador Camacho Robles
Salvador Salazar Gómez
Samuel Íñiguez Gómez
Susana López Cuenca
Teth Azrael Cortes Aguilar
Verónica Judith Gómez Barbosa
Víctor Manuel Langarica Rivera
Vidal Paz Robles

CONTENIDO / CONTENT

SECCIÓN 1 – BIOTECNOLOGIA Y ALIMENTOS /

SECTION 1 - BIOTECHNOLOGY AND FOODS

- 1 “Implementación de las BPM en el Área de Producción de la Empresa Frostland Fruits by Cofrusa”. C. G. Nieto Juárez, V. M. Langarica Rivera. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.
- 4 “Estandarización del peso neto del producto en una empresa de lácteos mediante control estadístico de procesos”. N. Santiago Olivares, S. M. Gutiérrez García, F. G. Arriaga López, C. Beltrán Hernández, S. Iñiguez Gómez. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas.

SECCIÓN 2 – COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA /

SECTION 2 - COMPUTER AND ELECTRONICS

- 8 “Evaluación sobre la calidad de un enlace inalámbrico para transmisor con batería Li-ion”. T. A. Cortes Aguilar, A. Tovar Arriaga. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapopan.
- 12 “Control de embarcaciones mediante Modos Deslizantes con ganancias PID”. S. Alvarez Rodríguez. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno.
- 18 “Estudios preliminares para un Traductor de Lenguaje Subvocal”. F. J. Luis Juan Barragán, V. González Villanueva, J. C. Chávez Novoa, M. A. Delgado López. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Chapala.

SECCIÓN 3 – GESTIÓN E INNOVACIÓN EMPRESARIAL /

SECTION 3 - ENTERPRISE MANAGEMENT AND INNOVATION

- 23 “Estudio de Campo Ocotlán para la Implementación de una plataforma digital del Internet de los comportamientos (IoB) en el sector gastronómico”. O. R. Rojo Roa, G. Ramírez Pimentel, V. Paz Robles. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapotlanejo.

SECCIÓN 4 – PROCESOS INDUSTRIALES /

SECTION 4 - INDUSTRIAL PROCESSES

- 27 “Proceso de Desvulcanización de Residuos de Caucho Mediante Solventes No Polares y Derivados Ácidos de Compuestos Sulfurados”. G. A. Torres Avalos, L. C. López Ureta, E. Martínez Orozco. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno.

- 31 “Prototype of Micro syringe Pump for Microfluidics Driven by Stepper Motor”. C. A. Dávalos Saucedo, G. Rossi Márquez, M. J. Briones Reyes, M. Alonzo Macias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno.
- 35 “Análisis longitudinal de los ciclos de zafra en el valle El Grullo – Autlán”. J. Michel Horta, M. L. Colmenares Zepeda. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica El Grullo.

SECCIÓN 5 – SUSTENTABILIDAD Y MEDIO AMBIENTE /

SECTION 5 - ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY

- 39 “Análisis preliminar sobre la abundancia y diversidad de Fauna edáfica asociada al cultivo del agave azul (Agave tequilana Weber) con dos sistemas de manejo diferentes en el municipio de Arandas, Jalisco”. C. S. Magaña Martínez, L. I. Pérez Valencia, W. David Rodríguez. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas.
- 43 “TecMM PET para Manufactura Aditiva y Economía Circular”. A. Gutiérrez Limón, P. Tamayo Gómez, S. Barajas Aranda. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapotlanejo.

SECCIÓN 6 – VISIÓN COMPUTACIONAL Y ANIMACIÓN /

SECTION 6 - COMPUTER VISION AND ANIMATION

- 46 “Optical analysis of physical properties of multilaminated films”. M. J. Briones Reyes, G. Rossi Márquez, C. A. Dávalos Saucedo. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno.

Implementación de las BPM en el Área de Producción de la Empresa Frostland Fruits by Cofrusa

C. G. Nieto Juárez^{#1}, V. M. Langarica Rivera^{#2}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, Jalisco, México

¹ claudia.nieto@gmail.com, ² victor.langarica@tamazula.tecmm.edu.mx

Resumen—Frostland Fruits by Cofrusa es una compañía que provee productos IQF (Individual Quick Freezing, que significa “congelado rápido individual”) como zarzamoras, frambuesas, fresas, arándanos y mangos. Localizada en el municipio de Zapotlán el grande, Jalisco, México. Con el firme propósito de garantizar la inocuidad, implementa en sus procesos las Buenas Prácticas de Manufactura las (BPM), que son un conjunto de principios y recomendaciones técnicas que se aplican en el procesamiento de alimentos para garantizar su inocuidad. Como exportadora de frutas congeladas en IQF, busca certificarse en PRIMUS GFS en la versión 3.1. Los procesos difieren conforme el producto. Pero nunca se interrumpe la cadena del frío. En frambuesa se inicia con una inspección de daños e higiene de la materia prima. Se continúa con la eliminación de producto con defectos, hojas y materia extraña, se congela en charolas con aire forzado a -18°C; en zarzamora y mango se aplica previo a la congelación una inmersión en agua con ácido paracético o cloro y arándano solo un baño con ácido paracético, para reducir la actividad microbiana o eliminación de huevecillos de insectos. Todo pasa por un detector de metales y los productos utilizados son de grado alimenticio. De esa forma se reducen los peligros físicos, químicos o biológicos del proceso, complementado con las capacitaciones, auditorías internas previas a la certificación e inspecciones de las actividades del personal. La auditoría interna bajo los criterios del módulo 5 de Primus GFS ver. 3.1, mediante el recorrido y verificación de: áreas de empaques, área de almacenes, áreas de proceso, cuarto de máquinas, geomembranas para el agua, baños, comedor y perímetros, calificó con un 98% de cumplimiento. La inocuidad es el resultado del acierto de nuestro que hacer en función de nuestros esfuerzos y valores.

Palabras clave—Inocuidad, BPM, Primus GFS

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al informe de la Organización Mundial de la Salud -OMS- referente a las enfermedades de transmisión alimentaria (causadas por: bacterias, virus, parásitos, toxinas y productos químicos), cada año cerca de casi 1 de cada 10, enferman tras consumir alimentos contaminados de las cuales 420.000 mueren, incluidos 125.000 niños menores de 5 años [1]. LA INOCUIDAD NO ES NEGOCIABLE, es un resultado en función del esfuerzo realizado y los valores de quien están involucrados en la cadena alimentaria. Esfuerzos normados y sugeridos mediante certificaciones (como la de Seguridad Mundial en los Alimentos -Primus GFS-, Asociación de Negocios Internacionales -AIB-, British Retail Consortium -Consortio Británico de Minoristas -BRC-,

Sistema de Reducción de Riesgos de Contaminación -SRRC- o las Buenas Prácticas Agrícolas internacionales- Global GAP) de establecimientos, procesos o áreas dedicadas a la producción contribuyen a garantizar la inocuidad del producto. Quien hace la inocuidad es también quien la destruye, por eso consideramos los valores como la honestidad, responsabilidad, integridad y respeto garantizan y complementan la eficiencia de los esfuerzos realizados, contribuyendo a la salud de las personas.

Primus GFS es un programa de auditoría reconocido por la GFSI - Iniciativa Mundial de Seguridad Alimentaria -que abarca los ámbitos GAP, Buenas Prácticas Agrícolas- y GMP, Buenas Prácticas de Manufactura- así como los sistemas de gestión de la seguridad alimentaria (FSMS, por sus siglas en inglés). Este programa ofrece certificación para las operaciones de cultivo y los productos mínimamente procesados (frescos).

Frostland Fruits by Cofrusa cuida sus procesos en su servicio de “Congelado rápido de productos” (Individual Quick Freezing, IQF) en frutillas como zarzamoras, frambuesas, fresas, arándanos y o frutas como mangos. Reconociendo los posibles peligros físicos, químicos o biológicos que pudiesen ser causal de daño, busca su certificación en Primus GFS 3.1. Entre las áreas fundamentales que se tuvieron en cuenta para la producción y manufactura en la empresa, se atendieron las recomendaciones implicadas a esta certificación correspondientes al Sistema Administrativo de la Inocuidad Alimentaria (SAIA), a las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) – Granja, Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), el Sistema de Análisis de Riesgos y de Puntos Críticos de Control (HACCP) y Controles Preventivos (CP) – voluntario, para los módulos de empacadora, refrigeración y almacenamiento en frío y el de tratamiento [2 y 3].

Los Principios Generales de Higiene de los Alimentos brindan una orientación general sobre los distintos controles que deben adoptarse a lo largo de la cadena alimentaria para garantizar la inocuidad de los alimentos [4].

II. JUSTIFICACIÓN

Día a día, comprometidos con la producción, calidad e inocuidad debemos atender el quehacer de las personas, por lo que se debe actuar premeditadamente a los actos y condiciones que pudiesen generar un peligro que rompa la inocuidad. Se tiene contemplado capacitación del personal,

mantenimiento de higiene personal y de las instalaciones, corrección y adecuaciones de instalaciones y maquinarias, entre otros factores

Satisfacer las necesidades de los clientes mediante la producción de frutas inocuas y de calidad, conforme a los requisitos legales, regulatorios y los acordados con el cliente; respetar el ambiente y mantener un enfoque de mejora continua, a través de un sistema de gestión de inocuidad y calidad y el logro de sus objetivos, es la política de inocuidad alimentaria de la empresa.

La inocuidad no es casualidad, es un trabajo de conciencia, de respeto a las personas, de aplicación de la ciencia, de seguridad y satisfacción de hacer las cosas bien.

III. OBJETIVO

Implementar las Buenas Prácticas de Manufactura en el área de producción de la empresa Frostland Fruits By Cofrusa para la certificación PRIMUS GFS en la versión 3.1, para garantizar la inocuidad durante el proceso y en el producto terminado.

El procedimiento metodológico comenzó con un diagnóstico inicial de las BPM, inspecciones diarias y/o semanales del personal, registros documentales e instalaciones. Una vez realizados los cambios pertinentes de acuerdo a las observaciones, se evaluó el avance con la auditoría interna y posteriormente se solicitó la certificación en Primus GFS 3.1

IV. RESULTADOS

-En la actualidad, a nivel nacional e internacional de han estandarizado normas y sistemas nacionales y mundiales que indican y apoyan al manipulador de alimentos acerca de cómo garantizar la inocuidad de los mismos. [5].

-El diagnóstico inicial de las BPM a través de las instalaciones mostró algunos puntos de mejora tanto en el área externa como interna, en: equipos, áreas de almacenamiento y materiales de empaque, control de plagas, limpieza en general, prácticas operacionales y de los trabajadores, control de documentos, registro de pruebas, monitoreo de las operaciones, señalización y capacitación.

-Se realizó una inspección semanal del personal, donde se eligen personal al azar para verificar si se cumple correctamente el protocolo de BPMs, en esta inspección se revisa el uso de joyería, objetos personales, higiene del personal y bienestar del uniforme y se verifica que el personal tenga conocimiento de la técnica de lavado de manos y código de colores. Las reglamentaciones establecen que los manipuladores implicados deben asegurarse mediante supervisión, instrucción y entrenamiento en aspectos higiénicos relativos a su actividad laboral [6].

-Así mismo se realizó una inspección del área de casilleros semanal donde se revisa que el personal cumpla con las indicaciones de los objetos que están permitidos tener y aquellos que están prohibidos y que pueden poner en riesgo la seguridad laboral y la inocuidad de las instalaciones.

-Para cumplir con los requisitos de inocuidad se lleva a cabo un monitoreo de las concentraciones de sanitizantes en aduana, donde el personal hace el lavado de calzado con sales cuaternarias. Mientras que en el área de lavado de contenedores donde se administra a las tinas de lavado hipoclorito de sodio al 13% con el cual se lavan las charolas que se utilizan para transportar la fruta, se lleva a cabo el monitoreo de las mismas durante la jornada laboral y se registra en las bitácoras. Las BPM no se limitan solo a observar las medidas higiénicas prescritas por ley, sino que también comprenden la redacción de una documentación para su archivo y posterior consulta, trazabilidad y control de resultados [7].

-Todos los días se verifico el lavado correcto de calzado y manos, por parte del personal que ingresa a producción.

-Además se otorgaron capacitaciones donde se expusieron temas que ayudan a reforzar los conocimientos de inocuidad y demás temas de importancia para la empresa y el bienestar del personal. Toda persona que por su actividad laboral se encuentra en contacto directo con las materias primas, alimentos y bebidas, en sus etapas de recepción, almacenamiento y preparación para su servicio debe capacitarse en el manejo higiénico de los alimentos y debe usar esto como base de su trabajo. [5].

-Se realizó la auditoría interna bajo los criterios del Módulo 5 de Primus GFS ver. 3.1, mediante el recorrido y verificación de: áreas de empaques, área de almacenes, áreas de proceso, cuarto de máquinas, geomembranas (reservorio de pvc para contener el aguay evitar su pérdida por filtración), baños, comedor, perímetros.

Como parte de los resultados de la auditoría interna se comunica los hallazgos encontrados a los encargados de área otorgándoles también un plan de acción para la corrección de los mismos, en el cual se otorga fecha de compromiso para la corrección de los mismos, en esa misma fecha se da el seguimiento y se registra si se cumplió o no con la acción correctiva para posteriormente liberar el área marcada.

La manipulación de alimentos es una actividad en la que los alimentos están expuestos a una serie de riesgos de contaminación en cualquiera de las fases de producción. De nada sirve una serie de medidas estrictas en una fase, si en la siguiente o anterior el producto está contaminado [8].

Para prevenir los posibles peligros:

-Químicos, se realizan las pruebas de medición de concentración de acidez y del pH del agua de lavado. (Fig. 1);

-Físico, se emplea el detector de metales en el producto terminado o inspección de materia extraña tanto de la materia prima como del proceso (Fig. 2); y

-Biológicos, se toman muestras en el producto y del equipo de protección personal, además de inspeccionar las superficies de contacto del producto y enviar muestras a laboratorio para análisis microbiológico. (Fig. 3).



Fig. 1. Medición de pH del agua en línea de lavado



Fig. 2. Detector de Metales en producto terminado



Fig. 3. BPM en Personal e Inspección

La verificación de cumplimiento de prácticas de higiene, así como la continua retroalimentación al personal sobre la importancia de la aplicación de BPM fue la base para lograr certificar a la empresa como exportadora de alimentos IQF, obteniendo el 98% de cumplimiento durante la auditoria. Se presentó una disminución muy considerable en el incumplimiento de las BPM's por parte del personal operativo gracias a las continuas capacitaciones y auditorías internas. Son muchas las situaciones que producen alteraciones relevantes en el *status quo* de la Seguridad Alimentaria [9]. La certificación es un calificativo al acierto en el esfuerzo desarrollado para minimizar los riesgos y alejarnos de una posible crisis de seguridad alimentaria por falla en la inocuidad alimentaria.

Las BPM son útiles para el diseño y funcionamiento de los establecimientos así como para el desarrollo de procesos y productos relacionados con la alimentación, además,

contribuyen al aseguramiento de una producción de alimentos seguros, saludables e inocuos para el consumo humano y son requeridos para la implementación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP), de un programa de Gestión de Calidad Total (TQM) o de un Sistema de Calidad como ISO 9000 [10].

V. CONCLUSIONES

Después del recorrido por las instalaciones de la empresa, revisando procesos y documentación, se otorgó la puntuación del 98% en la auditoria preliminar para la certificación Primus GFS 3.1

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Frostland Fruits by Cofrusa y al Tecnológico Nacional de México, ITJMMPyH, Unidad Académica Tamazula, por el apoyo brindado y permitirnos hacer uso de sus instalaciones y equipos para la culminación de este trabajo que conduce al proceso de certificación como garantía de inocuidad de la empresa.

REFERENCIAS

- [1] OMS (2015). Informe de la OMS Estimaciones de la carga mundial de enfermedades transmitidas por los alimentos. [En línea]. Obtenido de: <https://apps.who.int/mediacentre/news/releases/2015/foodborne-disease-estimates/es/index.html>
- [2] (2022) Global STD Certification. [En línea]. Obtenido de: www.globalstd.com/certificacion/primusgfs/
- [3] (2022) Primus GFS. [En línea]. Obtenido de: <https://primusgfs.com/>
- [4] A. Díaz y R. Uria. *Buenas Prácticas de Manufactura, una guía para pequeños y medianos agroempresarios*. Serie agronegocios. San José, Costa Rica : IICA, 2009.
- [5] F. Bravo Martínez, *El manejo higienico de los alimentos. Guia para la obtencion del distintivo H*, Ed. Limusa, Mexico, 2002.
- [6] S. J. Forsythe y P. R. Hayes, *Higiene de los alimentos, Microbiologia y HACCP*, Ed. Acribia, España, 2002.
- [7] G. Wilbrett, *Limpieza y desinfección en la industria alimentaria*, Ed. Acribia, España, 2000.
- [8] J. L. Armendariz, *Gestion de la calidad y de la seguridad e higiene alimentarias*, 2da ed., Ed. Paraninfo, 2019.
- [9] J. J. Francisco Polledo, *Gestion de la seguridad alimentria*, Ed. Mundi-Prensa. España, 2002.
- [10] M. T. Salgado, "Importancia de las buenas prácticas de manufactura en cafeterías y restaurantes", *Vector*, vol. 2, pp. 33-40. 2007.

Estandarización del Peso Neto del Producto en una Empresa de Lácteos Mediante Control Estadístico de Procesos

N. Santiago Olivares^{#1}, S. M. Gutiérrez García^{#2}, F. G. Arriaga López^{*3}, C. Beltrán Hernández^{&4},
S. Iñiguez Gómez^{#5}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas, Jalisco, México

^{*}Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas, Jalisco, México

[&]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas, Jalisco, México

¹norberto.santiago@arandas.tecmm.edu.mx, ²maye-america@hotmail.com,

³fabi.arriaga@arandas.tecmm.edu.mx, ⁴celina.beltran@arandas.tecmm.edu.mx,

⁵samuel.iniguez@arandas.tecmm.edu.mx,

Resumen— Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para alcanzar este objetivo. La finalidad del proyecto fue desarrollar el control estadístico de procesos en el pesaje del producto terminado, para resolver la problemática que presenta la empresa en el peso de sus productos, para así aumentar la calidad y el mejor rendimiento en todos los procesos productivos a través de un análisis estadístico y conseguir una estabilidad de peso neto de sus quesos panela, cheddar y adobera, para reducir las mermas y no regresar el producto al reproceso. Los resultados fueron satisfactorios, se consiguió una reducción del 70% en mermas y reprocesos (dato señalado por la empresa en cuestión). También se utilizaron diagramas causa-efecto en cada etapa del proceso para conseguir el objetivo deseado.

Palabras clave—Lácteos, fabricación, calidad, variabilidad, cartas de control.

I. INTRODUCCIÓN

El enfoque principal del estudio fue desarrollar el control estadístico de proceso con la finalidad de resolver los problemas encontrados en la empresa Quesos Navarro en el Municipio de Tepatlán, Jalisco, en el área de producción, tomando en cuenta sub-áreas donde se encontró el problema, las cuales son moldeado, prensado, desmolde y empaque al vacío donde se hizo un análisis de todo el proceso de la elaboración de los productos, analizando los equipos de medición que se utilizan para pesarlos y se realizaron varios muestreos en subgrupos de 5 unidades, los cuales permitieron crear diversos formatos de bases de datos en hojas de cálculo de Excel para monitorear el proceso.

El trabajo consistió en analizar desde los equipos, las básculas de pesaje (si éstas se encontraban calibradas o no), la calibración de básculas, determinar cuáles eran las causas del problema por medio de muestreos, diagnosticar el proceso de producción y realizar una base de datos mediante una verificación interna obteniendo la variabilidad del proceso. Realizar muestreos del peso neto del producto terminado, establecimiento de límites críticos de control utilizando cartas de control para evaluar el proceso, realizar los análisis de las causas de variación, aplicar diagramas causa-efecto para identificar las causas de variación de peso e implementación de medidas correctivas. Con la finalidad de mejorar la calidad del producto terminado, evitar el reproceso y reducir las mermas, se corrigieron los problemas detectados en el análisis de causas de variación.

II. EL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

El Control Estadístico de Procesos es un conjunto de técnicas estadísticas destinadas a hacer un seguimiento, en tiempo real, de la calidad que ofrece un proceso. El resultado de dicho proceso puede ser un artículo o un servicio. El Control Estadístico se realiza sobre una o varias variables que estén relacionadas con la calidad del artículo o servicio de interés [1].

La carta de control es la herramienta más poderosa del Control Estadístico de Procesos (CEP). El CEP en línea es la mejor herramienta para lograr la estabilidad del proceso y mejorar la capacidad de éste mediante la reducción de la variabilidad [2]. La carta (Fig. 1) contiene una línea central (LC) que representa el valor promedio de la característica de calidad correspondiente al estado bajo control (esto es, cuando solo están presentes causas aleatorias). Las otras dos líneas horizontales, el límite superior de control (LSC) y el límite inferior de control (LIC), también se muestran en la carta. Estos límites se escogen de modo que, si el proceso está bajo control, casi todos los puntos muestrales se encuentran entre ellos [3].

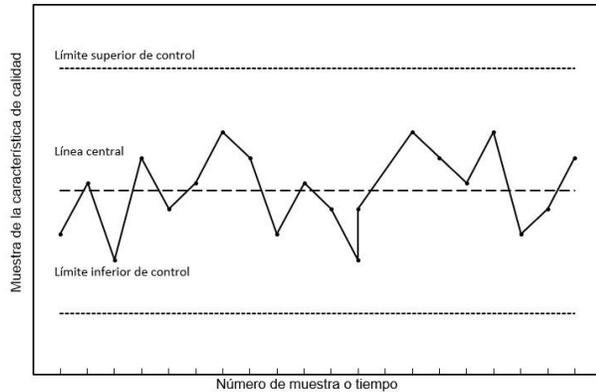


Fig. 1. Ejemplo de una carta de control

El proceso se supone bajo control siempre y cuando los puntos de la gráfica se encuentren dentro de los límites de control, con lo que no es necesario emprender ninguna acción. Sin embargo, un punto que esté fuera de los límites de control se interpreta como evidencia de que el proceso está fuera de control, por lo que se requieren la investigación y la acción correctiva para encontrar y eliminar la causa o causas asignables responsables de este comportamiento. Los puntos muestrales de la gráfica usualmente están unidos con líneas rectas (Fig. 1), de modo que sea más fácil visualizar la forma en que la secuencia de puntos evoluciona en el tiempo [4].

Aun cuando todos los puntos de la gráfica se encuentren dentro de los límites de control, si se comportan de manera sistemática o no aleatoria, entonces esto es un indicador de que el proceso está fuera de control.

Es posible dar un modelo general de una carta de control. Sea W un estadístico muestra que mide alguna característica de calidad en la que se tiene interés, y supóngase que la media de W es μ_w y la desviación estándar de W es σ_w . Así, la línea central, superior e inferior de control son:

$$LSC = \mu_w + k\sigma_w \quad (1)$$

$$LS = \mu_w \quad (2)$$

$$LIC = \mu_w - k\sigma_w \quad (3)$$

donde k es la “distancia” de los límites de control a la línea central, expresada en unidades de desviación estándar. Esta teoría general de las cartas de control fue propuesta por primera vez por el doctor Walter A. Shewhart, y las cartas de control desarrolladas de acuerdo con estos principios se conocen como cartas de control de Shewhart [5].

Se implementó el control estadístico de procesos para identificar las causas de variación en el proceso de envasado del producto leche de Marsella en su presentación de 1 litro, determinando que el proceso es inestable pero capaz y si se realizan las acciones pertinentes para su mejora puede ser un proceso de clase mundial [6].

En el análisis estadístico realizado, en una línea de leches saborizadas enlatadas de la empresa Laits S. A. en Lima, Perú, se evidenció que el proceso para la variable en estudio “peso”, no era estable ni capaz para cumplir con las especificaciones,

por lo que se elaboró un manual estadístico para poder detectar cualquier desviación y tomar acciones cuando se presenten eventos que afecten la variable en estudio [7].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Diagnóstico del proceso

Se realizó un recorrido dentro de la empresa para así poder conocer el proceso que se maneja para la elaboración de sus productos, se elaboró un diagrama de flujo con cada uno de los parámetros y tiempos utilizados en la producción.

B. Calibración de equipos

La empresa cuenta con pesas de 200, 500 y 1000 gr, dichas pesas se encuentran certificadas. Con una de ellas se realizaron 25 muestreos en 8 básculas obteniendo así un total de 75 muestras por báscula, dando un total general de 600 muestras; de esta manera los resultados fueron significativos y así poder determinar la situación de las básculas. Una vez capturados los resultados obtenidos se sacó su promedio, varianza, desviación estándar, máximo, mínimo y sus respectivas gráficas, dichos resultados se presentaron al área de mantenimiento para que tomaran las medidas correspondientes para proceder a la calibración de los instrumentos de medición.

Presentados los resultados el personal de mantenimiento se dio a la tarea de calibrarlas, una vez realizada dicha actividad por el personal correspondiente, se realizó nuevamente el mismo muestreo de 75 por báscula obteniendo así diferencias comparándolas con el antes y el después. Se realizó e implementó un formato de verificación de básculas y la calibración de las mismas se estableció que se hiciera cada mes. Cabe mencionar que se consultó la NORMA Oficial Mexicana NOM-038-SFCI-2000, Pesas de clases de exactitud E1, E2, F1, F2, M1, M2 Y M3, determinando así el tipo de pesa con la que se contaba y poder definir los límites máximos y mínimos permitidos en las básculas.

C. Muestreo de peso en producto terminado

Se realizaron muestreos (Fig. 2) en lotes completos para así poder determinar si el peso variaba al transcurrir el tiempo y observar cómo se comportaba al inicio, mitad y final de la tina, en algunos muestreos daba un total de 480 muestras. Se llevó a cabo esta actividad en diferentes tipos de quesos y en cantidad de muestreo diferentes, en el caso de cheddar se muestrearon 5 lotes, en adobera 3 y finalmente en panela otros 3 lotes (Fig. 2). Como se mencionó anteriormente se realizó en dos áreas, la primera fue en llenado de moldes y la segunda en desmolde, se daba continuidad al lote en el caso de cheddar y panela, el desmolde se realizaba al día siguiente del llenado de moldes esto con la finalidad de desuerear.

Se tomaba registro de cada uno de los pesos de los quesos en el área de llenado de moldes, al día siguiente se realizaba el mismo procedimiento en el área de desmolde tomando dos pesos: peso con molde y peso sin molde, el cual se designaron como peso inicial y peso final respectivamente. En la Fig. 2 se presenta un ejemplo de muestreo del peso en desmolde para queso panela. En la Fig. 3 se presentan los cálculos para

establecer los límites de control inferior y superior del mismo muestreo de la Fig. 2 tomando un valor de $k = 3$ en las ecuaciones 1 y 2 mostradas en la sección II. En la Fig. 4 se muestra la carta de control obtenida para el mismo caso que las Fig. 1 y 2. Una vez obtenido este peso se procedía a realizar el ajuste de pesos, el personal de dicha área realizaba el ajuste de peso con un pequeño cuchillo en donde le quitaba el peso sobrante y a su vez daban la forma adecuada al queso. Después del ajuste de peso se realizaba el siguiente registro de peso obteniendo así dos resultados por cada queso, se tomaba el registro como peso inicial y peso en producto terminado. Luego después, el producto pasaba a la siguiente área que es empaquetado al vacío.

El queso que llegaba a desmolde con bajo peso (por debajo del límite mínimo del peso establecido en la norma 002), era rechazado y se reprocesaba en el lote siguiente.

No. muestra	peso en gr				Media i	R _i	s _i	
1	389	387	396	392	390	390.8	9.0	3.42
2	398	390	390	393	397	393.6	8.0	3.78
3	390	396	396	397	390	393.8	7.0	3.49
4	397	393	395	378	394	391.4	19.0	7.64
5	383	397	397	387	390	390.8	14.0	6.18
6	384	383	385	393	399	388.8	16.0	6.94
7	397	385	396	393	391	392.4	12.0	4.77
8	398	394	384	393	399	393.6	15.0	5.94
9	397	393	395	394	383	392.4	14.0	5.46
10	397	397	398	395	398	397.0	3.0	1.22
11	396	399	394	392	390	394.2	9.0	3.49
12	396	398	391	388	389	392.4	10.0	4.39
13	397	392	386	394	400	393.8	14.0	5.31
14	394	396	400	399	388	395.4	12.0	4.77
15	395	398	398	397	394	396.4	4.0	1.82
16	398	386	396	395	399	394.8	13.0	5.17
17	395	395	392	390	398	394.0	8.0	3.08
18	396	393	389	391	386	391.0	10.0	3.81
	SUMA				7076.6	197.0	80.7	

Fig 2. Ejemplo de muestreo en desmolde de queso panela de 400 gramos

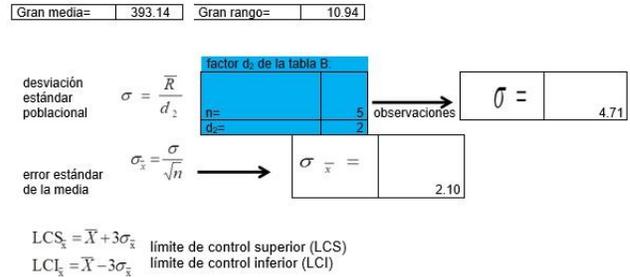


Fig. 3. Cálculos para establecer los límites de control.

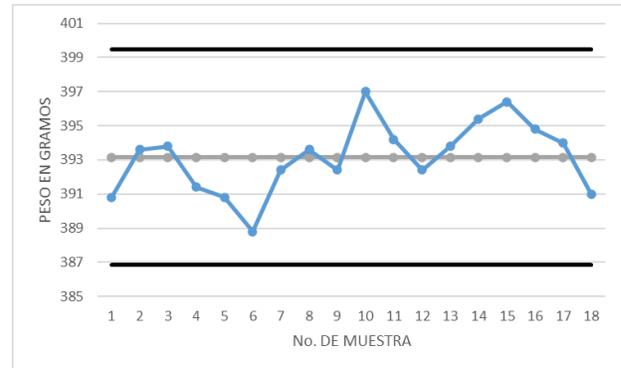


Fig 4. Carta de control X-R obtenida para el queso panela de 400 gramos

D. Identificación de las causas de variación

Para analizar las causas de variación del peso neto de los productos, fue necesaria una junta con los encargados de cada área, se presentaron los resultados obtenidos de las básculas y muestreo del peso; una vez expuestos dichos resultados se hizo una lluvia de ideas para realizar el diagrama de Ishikawa y un plan de trabajo y así poder atacar los puntos críticos que estaban afectando el peso neto del producto terminado (Fig. 5).

E. Implementación de medidas correctivas

Una vez que se realizaron todas las actividades antes mencionadas se aplicaron las medidas correctivas, tomando en cuenta los puntos que se determinaron en el diagrama de Ishikawa y se fueron realizando punto por punto hasta lograr el peso neto estándar de los productos.

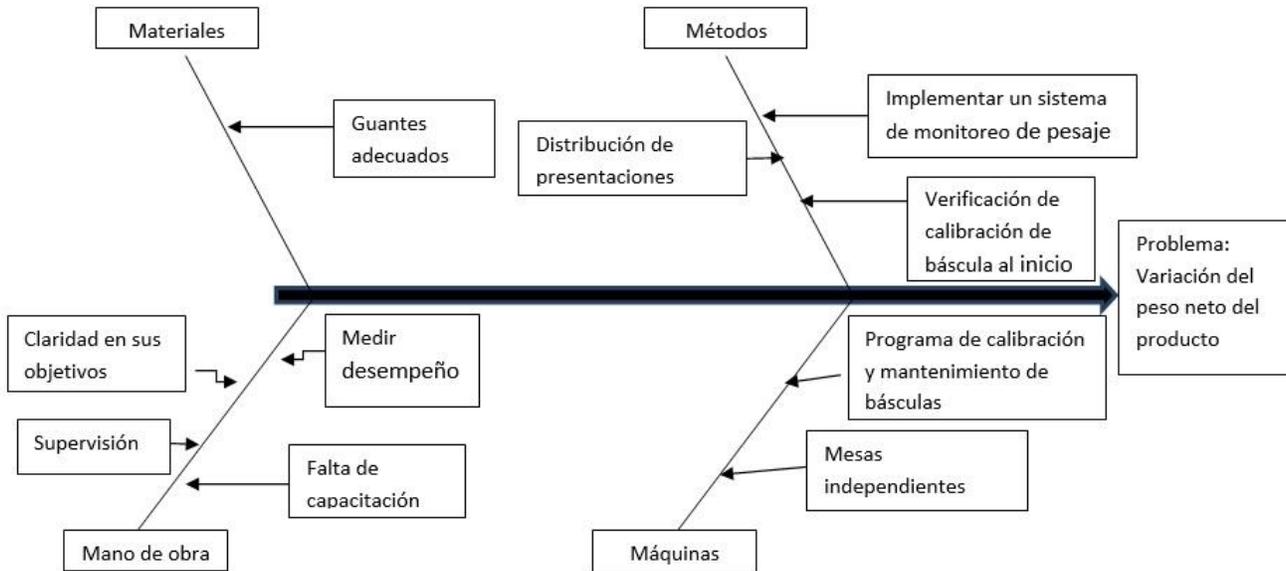


Fig. 5. Diagrama Ishikawa obtenido en la reunión con los encargados de cada área

IV. RESULTADOS

Se muestrearon los pesos netos de los diferentes tipos de quesos y se determinaron los gráficos de control estadístico para cada uno de ellos.

Se determinaron las causas que provocaban el problema en la estandarización del peso neto de los productos mediante un diagrama de Ishikawa.

Se implementaron las medidas correctivas identificadas en cada etapa del proceso con resultados más que satisfactorios.

V. CONCLUSIONES

Gracias al desarrollo del control estadístico implementado en la empresa, con el objetivo de estandarizar el peso neto de los productos, se consiguió evitar el reproceso y las mermas en un 70% (dato señalado por la empresa en cuestión).

Se realizó un análisis de las causas de variación en el proceso utilizando el Diagrama de Ishikawa, esta herramienta permitió aplicar las medidas correctivas correspondientes, y se fueron realizando punto por punto hasta lograr el peso neto estándar.

Se realizó una base de datos en hojas de cálculo de Excel para que se mantenga el control del proceso y no se pierda la estandarización del peso neto de los productos, además, se realizaron formatos de verificación de equipos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Arandas y la empresa Quesos Navarro por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] E. J. Vázquez Escalante, *Seis- sigmas Mitología y Técnicas*, 2nd ed., Ed. Limusa, Monterrey N.L. México, 2014.
- [2] E. L. Grant, R. S. Leavenworth, *Control estadístico de calidad*, traducido por Francisco Gutiérrez Noriega, 2nd ed., Ed. CECSA, México, 1996.
- [3] H. Pulido Gutiérrez, *Calidad total y productividad*, 3ra ed., Ed. McGrawHill, México, D.F.2010.
- [4] J. Banks, *Control de la calidad*, 1ra ed., Ed. Limusa, México, 1998.
- [5] PRAT, Albert Batres, Xavier Tort-Matorell Llabres, Pere Grima Cintas, Lourdes Pozueta Fernández. "Métodos estadísticos control y mejora de la calidad", Ed. Ediciones UPC, Unión Europea 1998.
- [6] R. Tinoco, E. Bermea, F. Gamboa, y B. Rubio, "Identificación de las causas de variación en el proceso de envasado a través del control estadístico de procesos", *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol.4(5), pp. 98-107, 2017.
- [7] M. M. Torres Rosales, y C. P. Villavicencio Mendivil, "Propuesta de plan HACPP y control estadístico de procesos en una línea de leches saborizadas enlatadas", Tesis de licenciatura, Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú, 2018.

Evaluación sobre la Calidad de un Enlace Inalámbrico para Transmisor con Batería Li-Ion

T. A. Cortes Aguilar^{#1}, A. Tovar Arriaga^{*2}

[#] Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapopan, Jalisco, México

^{*} Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapopan, Jalisco, México

¹teth.cortes@zapopan.tecmm.edu.mx, ²adriana-tovar@zapopan.tecmm.edu.mx

Resumen—La tasa de recepción de paquetes de datos en una red de sensores inalámbricos es un parámetro importante que determina la calidad de un enlace punto a punto. Sin embargo, este parámetro puede verse afectado por la distancia del transmisor al receptor, así como de la energía disponible para el transmisor, principalmente si tiene su fuente en baterías recargables de Ion de Litio. Para una aplicación real, el tiempo que la batería puede suministrar energía al transmisor no solo depende de la carga almacenada sino del voltaje umbral para el cual el circuito de protección desactiva la salida por sobre descarga. En este artículo presentamos los resultados experimentales sobre la calidad y tiempo de vida útil de un enlace inalámbrico para un transmisor alimentado mediante una batería de Ion de Litio.

Palabras clave—Batería de Ion de Litio, Redes de Sensores Inalámbricos, Tasa de Recepción de Paquetes.

I. INTRODUCCIÓN

Una red de sensores inalámbricos WSN (*Wireless Sensor Networks*) es una red inalámbrica de estructura jerárquica que permite la comunicación entre dos tipos de dispositivos, un nodo coordinador que se encarga de administrar las comunicaciones con otros nodos inferiores denominados nodos sensores y que a su vez se encargan de controlar actuadores y transductores [1-2].

El consumo de energía es uno de los desafíos que enfrentan el desarrollo de una WSN, en particular para los sistemas que requieren que cada nodo sensor tenga su propia batería. Por otro lado, utilizar módulos de comunicación más potentes para elevar el rango de alcance o reducir la tasa de errores en las transmisiones incrementa el costo de implementación y el consumo de energía. No obstante, para muchas aplicaciones es conveniente reducir el consumo de energía y el costo de los transceptores.

La implementación de una WSN tiene restricciones importantes, cuando los nodos inferiores funcionan con baterías, debido a que su reemplazo se asocia con altos costos de operación. En consecuencia, es necesario estimar con precisión el tiempo de vida de la batería y considerar que la calidad del enlace de radiofrecuencia se ve afectada por la reducción de la energía almacenada en la batería.

En la actualidad, las baterías de ion de Litio (*Li-ion*) han ganado popularidad por su uso en vehículos eléctricos [3]

equipos de cómputo, teléfonos móviles, sistemas IoT [2], en redes inalámbricas [1] y en muchas otras aplicaciones debido a sus características técnicas de seguridad intrínseca, estabilidad térmica, menor toxicidad para el medio ambiente, larga duración, alta densidad de energía, disponibilidad de materias primas, bajo costo y una curva de tensión relativamente plana [4].

El presente artículo está dividido de la siguiente forma, en la sección II se describe el método utilizado para la adquisición de los datos experimentales, así como las especificaciones técnicas del transceptor y la batería de Li-ion. También se incluye una descripción de los sistemas de gestión de la energía en baterías. En la sección III se presenta una comparación de los métodos teóricos usados para la estimación de la carga de la batería. En la sección IV se presentan los resultados y en la sección V las conclusiones.

II. MÉTODO

Para la obtención de los resultados experimentales se usó una conexión punto a punto entre un transceptor configurado como transmisor, que envía 100 paquetes de prueba hacia otro transceptor configurado como receptor. Para el control de la transmisión y recepción de los paquetes de prueba se utilizó una tarjeta Arduino uno conectada al transceptor. El cálculo de la tasa de paquetes recibidos con éxito PRR (*Packet Reception Rate*) se llevó a cabo en el circuito receptor y el registro de las mediciones se realizó en tiempo real a través de una computadora.

A. Transceptor

En el presente trabajo se utilizó el transceptor NRF24L01 del fabricante Nordic Semiconductor [5], ver Fig. 1. Cabe señalar, que este transceptor se ha usado anteriormente para aplicaciones de bajo costo en WSN [1]. Para la obtención de las mediciones de PRR, se modificó la potencia del transmisor dentro de sus parámetros de configuración permitidos de -18dBm, -12dBm, -6dBm y 0dBm y para cada una de las distancias de experimentación de 1m, 5m, 10m, 15m, y 20m. Todos los paquetes de prueba enviados se reciben sin errores, cuando el cálculo de PRR es igual 1.



Fig. 1. Transceptor de radiofrecuencia NRF24L01 y especificaciones técnicas relevantes.

B. Batería Li-ion

El nodo sensor configurado para enviar los paquetes de prueba hacia el receptor se conectó a la batería de Li-ion de la Fig. 2. Para obtener los datos experimentales de voltaje contra tiempo de la Fig. 3 y de tiempo contra corriente de carga de la Fig. 4 se conectó a la batería una carga resistiva además de los circuitos del transceptor para simular un consumo de corriente de 500 mA, 425mA, 350mA, 325mA y 150mA con el propósito de acortar los tiempos de descarga de la batería. Cabe señalar, que para una aplicación real, el consumo de energía es muy bajo, alrededor de 15mA en modo de transmisión activa, además el consumo de energía se puede reducir hasta 3mA cambiando la configuración del transceptor a modo *Sleep* y alargando el tiempo de muestreo del sensor. Este ajuste prolongaría el tiempo de descarga hasta en 7 días, y no es un tiempo viable para los varios experimentos realizados en el presente trabajo, por esta razón, se decidió aumentar artificialmente el consumo de corriente.



Fig. 2. Imagen y especificaciones técnicas relevantes de la batería de alimentación del transmisor.

C. Sistema de gestión de la Batería.

Las baterías de Li-ion utilizan un sistema de gestión de la energía BMS (*Battery Management System*) que tiene como propósito proteger tanto a la batería como al dispositivo de carga. La falta de un BMS puede dañar las celdas de la batería y llegar a provocar un incendio. La mayoría de las baterías comerciales integra un BMS para cortar el suministro de energía cuando se detecta un funcionamiento anómalo [6]. Las fallas típicas contra las que ofrecen seguridad los BMS son las siguientes.

Sobre carga: La regulación de voltaje o corriente se usa para evitar que las celdas tomen demasiada energía, demasiado rápido y se sobrecarguen. En circuitos simples, se utilizan reguladores lineales para limitar el voltaje o la corriente. En circuitos más avanzados, se usa un microcontrolador (μC) para monitorear y controlar las funciones de carga. El método de protección de las celdas de iones de litio requiere un método de carga de corriente constante sobre voltaje constante en dos etapas.

Sobre descarga. La descarga de la batería hará que el voltaje de la celda caiga. Esta protección monitorea el voltaje de la celda, apagando la salida cuando el voltaje cae por debajo de un umbral preestablecido. La salida no se volverá a encender hasta que el voltaje de la celda se eleve nuevamente. La protección contra sobre descarga puede ocurrir prematuramente si la energía consumida por la carga es demasiado alta, pero no lo suficientemente alta como para activar la protección contra cortocircuitos.

Protección contra cortocircuito. Cuando una carga extrae demasiada corriente de la salida de la batería, el circuito de protección desconecta la salida. En ocasiones, esta función requiere restablecer manualmente la batería, incluyendo la desconexión y reconexión de la carga.

Exceso de temperatura. Si las celdas se cargan o descargan demasiado rápido entonces las reacciones químicas que tienen lugar en su interior pueden generar un calor excesivo. El circuito de protección puede ser un interruptor térmico o un μC que registra los cambios de una resistencia térmica y desactiva la entrada o salida de la batería hasta que la temperatura haya vuelto a las condiciones normales de funcionamiento.

III. MÉTODOS TEÓRICOS DE ESTIMACIÓN DE *SoC*

El estado de carga de la batería *SoC* (*State of Charge*) expresado como porcentaje, no se puede medir directamente, de ahí que en años recientes se han propuesto muchos enfoques para estimar el *SoC* [7]. Aunque se han publicado numerosos métodos de cálculo, aún se necesitan soluciones de estimación más precisas, eficientes y confiables para aplicaciones reales [8]. En la Tabla I se presenta una comparación de los cinco métodos de estimación del *SoC*.

El estado de carga de la batería se puede definir como la relación entre la carga almacenada en un instante de tiempo $\mu(t)$ sobre la capacidad nominal μ_n de la batería [9].

$$SoC(t) = \frac{\mu(t)}{\mu_n} \quad (1)$$

El *SoC* también se puede estimar mediante el método de conteo de Coulomb de la ecuación (2), donde $SoC(t-1)$ es la carga inicial de la batería, $i(t)$ es el consumo de corriente y Δt es un intervalo de tiempo.

$$SoC(t) = SoC(t-1) + \frac{i(t)}{\mu_n} \cdot \Delta t \quad (2)$$

El tiempo de vida de la batería TVB se puede estimar mediante la ecuación (3), a partir de conocer la carga actual

de la batería C_{bat} en mAh, la corriente de descarga I y un factor c asociado a la rapidez de descarga.

$$TVB = \frac{C_{bat}}{I} \cdot c \quad (3)$$

De la ecuación (3) se deduce que un incremento en la corriente de descarga o un porcentaje bajo en la carga actual de la batería reduce de TVB.

TABLA I
MÉTODOS TEÓRICOS DE ESTIMACIÓN DEL SoC

Método	Ventaja	Desventaja
Conteo de Coulomb	Calcula el SoC a través de la integración de la corriente y tiene una alta eficiencia computacional	Su precisión es sensible al SoC inicial y la acumulación de la medición actual.
Voltaje de circuito abierto OCV (<i>Open Circuit Voltage</i>)	Se adapta a la caracterización de una curva no lineal de respuesta de la batería, también considera la temperatura.	Depende de la relación entre SoC y OCV. Además el largo tiempo de relajación de la batería para medir el OCV lo hace impráctico para estimaciones en tiempo real [10].
Espectroscopia de impedancia	Mide la impedancia de una celda de batería en diversas frecuencias	Requiere sensores costosos y es difícil de medir con precisión
Redes neuronales	Tienen alta precisión.	Están fuertemente relacionadas con las muestras de entrenamiento
Estimación basada en modelos	En general tienen un rendimiento superior	Dependen de un modelo exacto de la batería.

IV. RESULTADOS

En la Fig. 3 se observa que el voltaje en la batería decae conforme transcurre el tiempo para un consumo constante de corriente eléctrica. A menor consumo de corriente se registra un mayor tiempo de descarga. Las mediciones se hicieron con un SoC inicial del 95%. Cuando el voltaje alcanzó el límite inferior de 6 volts, el BMS de la batería detecta una falla por sobre descarga y desconecta la salida. Para reiniciar las mediciones con otra corriente de carga se desconectó la batería del circuito transceptor y fue necesario restaurar la carga almacenada en la batería a través del conector micro USB.

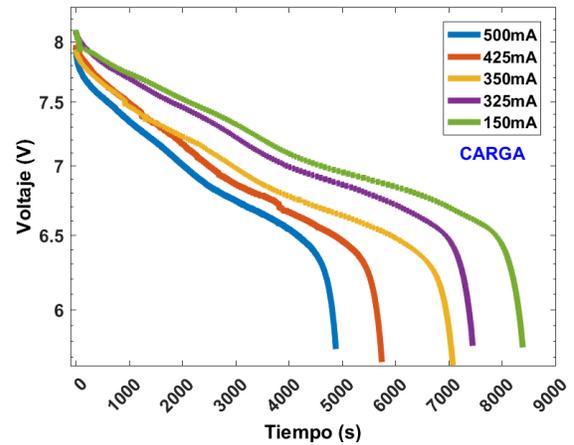


Fig. 3. Descarga de la batería de Li-ion, graficas de voltaje contra tiempo para diferentes corrientes de carga.

En la Fig. 4 se muestran una comparación entre las gráficas del tiempo de vida de la carga almacenada en la batería para los resultados experimentales y los datos teóricos estimados con la ecuación (3), considerando un factor de descarga $c = 1$. Un incremento en el consumo de corriente agotará más rápidamente la energía de la batería reduciendo su tiempo de vida útil antes de necesitar ser recargada. A excepción de la carga de 150mA, los resultados teóricos son cercanos a los resultados experimentales

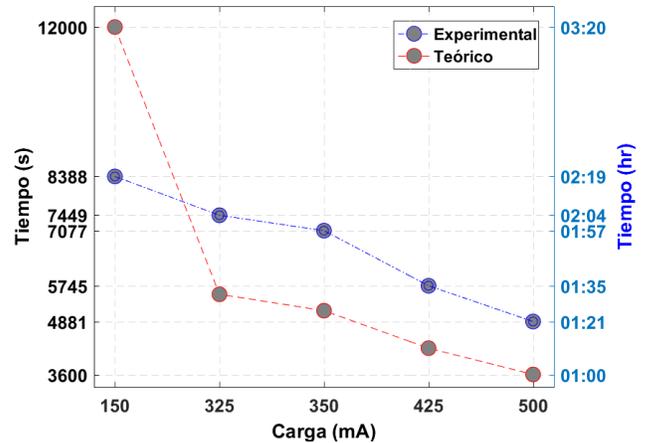


Fig. 4. Grafica de tiempo de vida de la batería de Li-ion contra corriente de carga.

En la Fig 5 se muestra que la cantidad de paquetes recibidos con éxito PRR, se reduce conforme se aleja el transmisor del receptor. También es importante notar que la cantidad de comunicaciones con un $PRR < 1$ se incrementa conforme se reduce el voltaje en la batería de Li-ion. Los datos de la Fig. 5 se obtuvieron configurando la potencia del transmisor para los cuatro parámetros permitidos, indicados en las especificadores técnicos de la Fig. 1.

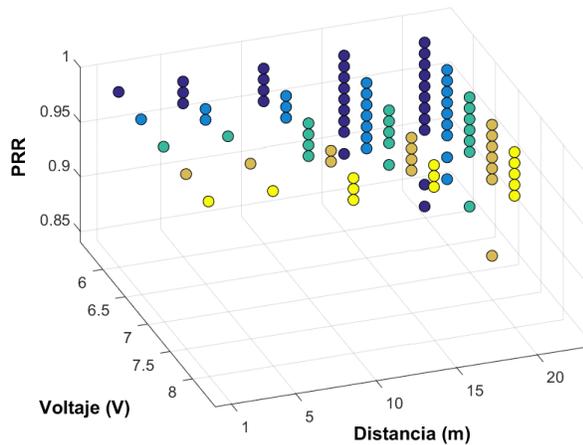


Fig. 5. Grafica de dispersión de voltaje en la batería de Li-ion y distancia del transmisor al receptor contra la tasa de paquetes recibidos con éxito PRR.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró para un sistema de comunicación punto a punto, utilizando una batería comercial de Li-ion y el transceptor de bajo costo NRF24L01, que la cantidad de paquetes recibidos con éxito PRR depende tanto de la distancia de separación entre el transmisor y el receptor como del voltaje de alimentación en la batería del transmisor. A su vez, el tiempo de vida útil de la batería para un ciclo de descarga, depende tanto del consumo de corriente como del tiempo de detección de falla por sobre descarga del circuito BMS, que desactiva la salida de la batería antes de descargarse por completo.

Los resultados experimentales muestran que la desconexión de la batería por sobre descarga ocurre cuando la tensión en la batería se reduce por debajo de los 6 volts, y la mayor pérdida en la calidad del enlace inalámbrico con mediciones de $PRR < 1$ ocurre cuando el voltaje de la batería es de 6 volts y para la distancia de separación máxima registrada, de 20 metros; antes de alcanzar el límite de operación de transceptor determinada a treinta metros.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Unidad Académica Zapopan del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez

por el apoyo parcial para la realización del presente proyecto. También agradecemos al estudiante Paulo Javier Arredondo López de la carrera Ingeniería Electrónica por su contribución en la adquisición de los datos experimentales.

REFERENCIAS

- [1] E. Mendoza, P. Fuentes, I. Benítez, D. Reina, y J. Núñez, “Red de sensores inalámbricos multisalto para sistemas domóticos de bajo costo y área extendida”, *Rev. iberoam. autom. inform. ind.*, vol. 17(4), pp. 412–423, sep. 2020.
- [2] B. Mazon-Olivo and A. Pan, “Internet of Things: State-of-the-art, Computing Paradigms and Reference Architectures”, *IEEE Latin America Transactions*, vol. 20(1), pp. 49–63, May 2021.
- [3] D. Trujillo and E. M. García Torres, “Demand response due to the penetration of electric vehicles in a microgrid through stochastic optimization”, *IEEE Latin America Transactions*, vol. 20(4), pp. 651–658, Jul. 2021.
- [4] F. Gómez, L. Yebra, A. Giménez, y J. Torres Moreno, “Modelado de baterías para aplicación en vehículos urbanos eléctricos ligeros”, *Rev. iberoam. autom. inform. ind.*, vol. 16(4), pp. 459–466, sep. 2019.
- [5] nRF24 Series, (Marzo 2008) Nordic Semiconductor, www.nordicsemi.com
- [6] M. U. Ali, A. Zafar, S. H. Nengroo, S. Hussain, M. J. Alvi, and H.-J. Kim, “Towards a Smarter Battery Management System for Electric Vehicle Applications: A Critical Review of Lithium-Ion Battery State of Charge Estimation”, *Energies*, vol. 12(3), pp. 446, Jan. 2019.
- [7] R. Zhang et al., “A Study on the Open Circuit Voltage and State of Charge Characterization of High Capacity Lithium-Ion Battery Under Different Temperature,” *Energies*, vol. 11(9), pp. 2408, Sep. 2018.
- [8] J. Meng, G. Luo, M. Ricco, M. Swierczynski, D.-I. Stroe, and R. Teodorescu, “Overview of Lithium-Ion Battery Modeling Methods for State-of-Charge Estimation in Electrical Vehicles,” *Applied Sciences*, vol. 8(5), p. 659, Apr. 2018.
- [9] R. Lajara, J. J. Pérez-Solano and J. Pelegrí-Sebastiá, “Predicting the Batteries' State of Health in Wireless Sensor Networks Applications”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65(11), pp. 8936-8945, Nov. 2018.
- [10] L. Rodrigues, C. Montez, R. Moraes, P. Portugal, and F. Vasques, “A Temperature-Dependent Battery Model for Wireless Sensor Networks” *Sensors*, vol. 17(2), p. 422, Feb. 2017.

Control de Embarcaciones Mediante Modos Deslizantes con Ganancias PID

S. Alvarez-Rodríguez^{#1}

[#]Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez,
Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México

¹sergio.alvarez@lagos.tecmm.edu.mx

Resumen— Tradicionalmente, el control automático de embarcaciones marítimas se ha realizado utilizando la técnica Proporcional-Integral-Derivativa (PID), ya que los diseñadores e ingenieros dedicados a esta tarea se han resistido históricamente a emplear técnicas de control avanzado. Sin embargo, aun cuando el control PID es altamente confiable y fácil de implementar, presenta generalmente poca resistencia a las perturbaciones y ruido. Esta es la primera etapa de un proyecto en el cual se realiza una aplicación sobre embarcaciones marítimas, de controladores que usan las técnicas de Modos Deslizantes con ganancia variable, que logre subsanar la escasa robustez del PID tradicional. Con estas nuevas técnicas se obtienen controladores robustos con propiedades similares a las de los controladores PID, pero resistentes al tipo de perturbaciones y ruido al que están sometidas cotidianamente las embarcaciones marítimas. Este tipo de control usa los conceptos básicos del control tipo PID para la obtención dinámica de ganancias para un control discontinuo de estructura variable. De esta forma, mediante resultados de simulación, se propone la aplicación de controladores que conserven la sencillez y confiabilidad de los controladores PID convencionales, pero dotándolos de la robustez que mantenga a las embarcaciones marítimas en estado estable y en convergencia asintótica con las señales de referencia en tiempo finito.

Palabras clave—Embarcaciones marítimas, control PID, control por modos deslizantes.

I. INTRODUCCIÓN

Las embarcaciones marítimas poseen variables como la trayectoria, el alabeo, el cabeceo y la guiñada, entre otras, las cuales son sujetas a algún tipo de control para el correcto desempeño y maniobrabilidad del buque. Las ecuaciones dinámicas que modelan el comportamiento de estas variables pueden presentarse en un formato especial llamado “espacios de estado”, dónde un sistema de ecuaciones diferenciales debe ser resuelto para cada uno de los estados, actuando bajo un sistema de control determinado. En [1], se menciona el hecho de que el sistema de control tradicionalmente empleado en las embarcaciones marítimas es el ampliamente conocido Proporcional-Integral-Derivativo, debido a la sencillez de su implementación, a su suavidad en la señal de control, y a su confiabilidad, sin embargo, este sistema de control presenta poca robustez operativa, entre otras desventajas. Recordar que los controladores PID son eficientes para el control de sistemas lineales, pero los buques marítimos resultan ser sistemas altamente no lineales.

Por otro lado, se han realizado esfuerzos como el trabajo reportado en [2], en donde se proponen controladores no lineales para vehículos marítimos utilizando mediciones tanto de posición, como de orientación (alabeo, cabeceo y guiñada).

Los Modos Deslizantes (véase [3]), son una técnica de control robusto ampliamente usada para sistemas no lineales, y sujetos a fuertes perturbaciones, variaciones paramétricas, dinámicas no modeladas y ruido. Sin embargo, los modos deslizantes son una clase de control perteneciente a los sistemas de estructura variable, donde la ley que los gobierna incluye señales discontinuas en el tiempo de alta frecuencia, lo que provoca un fenómeno indeseable llamado efecto de vibración (chattering-effect), el cual produce desgaste mecánico, pérdida de energía, imprecisión de posicionamiento, y otros fenómenos indeseables sobre la planta a controlar.

Como antecedentes inmediatos a este trabajo tenemos que en [4-5], se desarrollan técnicas de control por Modos Deslizantes con ganancias proporcionales al error de seguimiento, o bien, ganancias tipo PID.

A. Justificación.

Es escaso el volumen de investigación realizado en aplicaciones de control robusto por Modos Deslizantes sobre vehículos marítimos. En el presente trabajo se propone el uso tanto de los conceptos del controlador PID convencional, como de las técnicas de control por Modos Deslizantes, amalgamándolas de tal forma que se obtengan los beneficios de ambas en un solo sistema de control.

B. Contribución de este trabajo.

La principal contribución de este trabajo, que se encuentra en su primera etapa, es la aplicación práctica, mediante pruebas de simulación, de los conceptos expresados en [5] (artículo del mismo autor), referentes al uso de Modos Deslizantes con ganancias variables de tipo PID. Esta aplicación se implementa sobre un tipo específico de embarcación marítima. Una contribución adicional es la comparación del desempeño del PID tradicional con el del control por Modos Deslizantes de ganancia variable, donde la planta de control es la embarcación considerada.

II. MARCO TEÓRICO

Las embarcaciones navales son en la actualidad sistemas electromecánicos sujetos a control mediante técnicas que

estabilicen sus variables, haciendo converger asintóticamente el error de seguimiento al origen.

Las principales variables de un buque naval que pueden ser monitoreadas y controladas en forma automática mediante alguna técnica específica de control (véase [6]), son la posición en el espacio tridimensional (x, y, z) , y la orientación con respecto a un sistema inercial (ϕ, θ, φ) . En la trayectoria se consideran las variables dinámicas como el avance del buque (u), el desplazamiento lateral (v) y la arfada (w). Las dinámicas de rotación están constituidas por alabeo (p), cabeceo (q) y guiñada (r) (roll, pitch, yaw respectivamente), las cuales son mostradas en la Fig. 1.

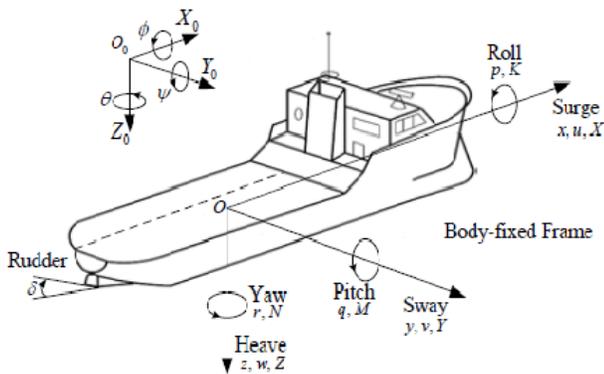


Fig. 1. Principales variables que pueden ser controladas en una embarcación marítima. Imagen tomada de Dheeraj, U, et al, Design of a ships autopilot using state space feedback control methodology.

Estas variables se pueden agrupar en dos vectores principales, uno para las posiciones lineales y angulares, y el otro para las velocidades lineales y angulares, como se muestra en las siguientes ecuaciones

$$\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \varphi] \quad (1)$$

$$v = [u, v, w, p, q, r] \quad (2)$$

Debido a que las velocidades son obtenidas mediante la primera derivada temporal de las posiciones, entonces introduciendo una razón de proporcionalidad vectorial como el Jacobiano de la orientación $J(\phi, \theta, \varphi)$, o simplemente J , obtenemos que

$$\dot{\eta} = J v \quad (3)$$

Por otra parte, usando las conocidas ecuaciones de Lagrange-Euler para el modelado de dinámicas de cuerpos sometidos a esfuerzos, tenemos que

$$M \dot{v} + C v + F = \tau \quad (4)$$

donde M representa la matriz de inercias; C es la matriz de fuerzas centrípetas y de Coriolis; y F es un vector que representa dinámicas no modeladas, variaciones paramétricas, perturbaciones y ruido, que en el caso de un buque naval puede representar tanto a las perturbaciones ambientales como olas, vientos y corrientes, como a las fuerzas y momentos

hidrodinámicos producidos por el movimiento del casco en el agua; τ representa a los esfuerzos de los sistemas de propulsión y a las superficies de control como son timones y aletas, lo que constituye el vector de las señales de control para los actuadores. En este punto cabe especificar que las perturbaciones y ruido pueden ser absorbidos por el controlador del sistema cuando son difíciles de modelar por su naturaleza caótica.

El sistema puede expresarse en espacios de estado para efectos de control a lazo cerrado, quedando de la siguiente forma

$$\dot{\eta} = J v \quad (5)$$

$$\dot{v} = -M^{-1} [C v + F] + M^{-1} \tau \quad (6)$$

Cuando se conocen las variables que se desean controlar en una embarcación marítima, así como el modelo matemático que modele las dinámicas de cada una de esas variables, es posible aplicar alguna técnica para su control.

En este trabajo se propone el uso híbrido del control PID y el control por Modos Deslizantes o Sliding Mode Control (SMC), con la finalidad de obtener un controlador con las ventajas de ambas técnicas.

Parte de los conceptos teóricos que se usan para el desarrollo del proyecto están centrados en las definiciones de controladores para sistemas lineales y no lineales, controladores PID y de modos deslizantes, respectivamente.

Un controlador tipo PID (véase [7]) está dado por la ecuación

$$u_{pid} = K_p e + k_i \int_{t_0}^{t_1} e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (7)$$

donde $u_{pid} \in \mathbb{R}^3$ representa el valor del par (señal de control); $K_p \in \mathbb{R}^3$, $K_i \in \mathbb{R}^3$ y $K_d \in \mathbb{R}^3$ son las ganancias proporcionales, integrales y derivadas, respectivamente; y $e = q - Ref \in \mathbb{R}^3$ representa el error de seguimiento del sistema de control, con Ref como señal de referencia.

La otra técnica considerada, es el siguiente control de modo deslizante (SMC) de segundo orden, llamado algoritmo Twisting:

$$u_{smc} = -r_1 \operatorname{sgn}(e) - r_2 \operatorname{sgn}(\dot{e}) \quad (8)$$

donde $u_{smc} \in \mathbb{R}^3$ representa la señal de control generada por el SMC $r_1, r_2 \in \mathbb{R}^3$ son los llamados parámetros Twisting; y $\operatorname{sgn}(\cdot)$ es la conocida función de signo.

Una variante del Twisting es el modo deslizante convencional, donde no se toma en cuenta el término del signo de la razón de cambio del error, es decir,

$$u_{smc} = -r_1 \operatorname{sgn}(e) \quad (9)$$

Para revisar con mayor profundidad los aspectos teóricos relacionados con el efecto chattering (parloteo) y los Modos Deslizantes se recomienda revisar los artículos [8-19].

III. DESARROLLO

Las ecuaciones (8)—(9) pueden tener ganancias variables en lugar de las ganancias constantes r_1, r_2 , y estas ganancias variables pueden tener una ley adaptativa que sea función del error, así como lo presenta la ecuación (7). Sustituyendo (7) en (9), tenemos que

$$u_{smc} = -[K_p e + k_i \int_{t_0}^{t_1} edt + K_d \frac{de}{dt}] sgn(e) \quad (10)$$

La ecuación (10) es la ley de control con la cuál se trabaja en este artículo.

Para comprobar las formalidades matemáticas que dan validez a la obtención de la expresión (10), se invita al lector a revisar el análisis de estabilidad en el sentido de Lyapunov ofrecido en [5].

En este desarrollo se diseñan pruebas de simulación en ambiente Simulink de Matlab, para conocer el comportamiento teórico del avance, desplazamiento lateral y guiñada de una embarcación ligera con masa m de 50 Kg, una ubicación del centro de masas xG de 0.5 m, una inercia Iz de 0.2 Kg. Por simplicidad conceptual se toma J como una matriz identidad de 3×3 , y las matrices de masas e inercias M , así como de Coriolis y fuerzas centrípetas C , poseen las siguientes formas:

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & m(xG) \\ 0 & m(xG) & Iz \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -m(xG r + v) \\ 0 & 0 & m u \\ m(xG r + v) & -m u & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

En la Fig. 2, se presenta el diagrama raíz de programación por bloques en Simulink-Matlab en el cual se aprecian dos sistemas de control con realimentación de estados, donde los bloques en color verde representan a la embarcación, es decir, donde están contenidas las ecuaciones (5)—(6), con sus respectivos valores matriciales (11)—(12). En el sistema de la parte superior en color cian tenemos el control de la embarcación mediante el control PID de la ecuación (7), mientras que en la parte inferior el bloque azul de control conteniendo la ecuación (10) referente a los Modos Deslizantes (SMC) de ganancia variable. Los bloques en gris oscuro generan señales de ruido blanco para simular las condiciones de movimiento acuoso caótico, mediante el generador de Simulink “Band-Limited white noise” con semilla de [23341] y ganancias de 0.0015.

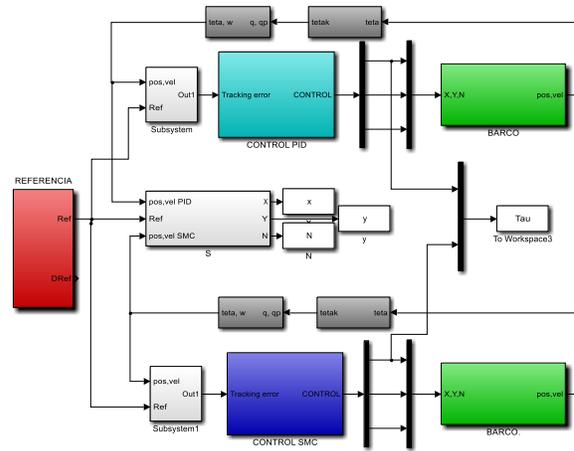


Fig. 2. Diagrama de bloques de control en Simulink.

IV. RESULTADOS

Habiendo realizado la implementación del sistema de control en la forma ya descrita, se realizaron corridas de simulación agrupadas en dos tandas, con las condiciones paramétricas indicadas anteriormente y tomando en cuenta que la primera tanda de simulaciones se realiza sintonizando el PID, tanto de (7) como de (10) con los valores:

$K_p=10000$; $K_i=50$; y $K_d=1500$. Con una restricción de saturación de 100 Nm para cada una de las señales de control.

En la Fig. 3, se puede apreciar el control de la embarcación en el eje X, es decir, el rumbo de proa o avance que se le marca al buque. Como observamos, la referencia es una señal de diente de sierra de 2 unidades de amplitud y una frecuencia de 0.07 Hz. Se observa que las condiciones iniciales (0.52 rad) están fuera del inicio (0.2 rad) de la referencia.

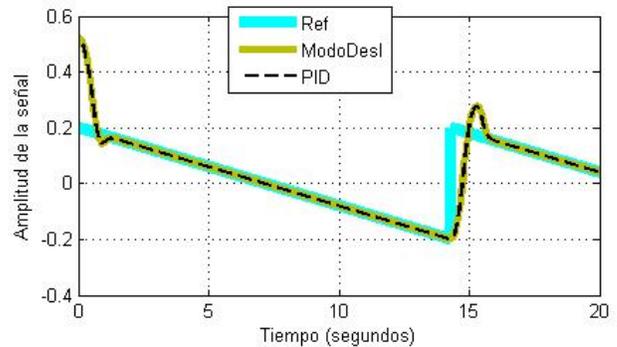


Fig. 3. Control de la embarcación en la posición en el eje X.

A partir del origen de la trayectoria, la embarcación tarda en alcanzar la convergencia aproximadamente 1.5 segundos utilizando cualquiera de las dos técnicas de control, tanto el PID como los modos deslizantes (con ganancias PID). A partir del momento en que alcanza la convergencia, ya no la pierde hasta el momento en que el diente de sierra salta de -0.2 a 0.2 rad, donde el proceso de convergencia vuelve a comenzar.

En la Fig. 4, se observa una señal de referencia senoidal con una amplitud unitaria y una frecuencia de 0.05 Hz, donde el control de la embarcación trata de controlar su movimiento en el eje Y, es decir, los desplazamientos laterales o deriva (babor-estribor). También tenemos una condición inicial de 0.52 rad, y para alcanzar la convergencia, tanto del controlador PID como de los modos deslizantes, se emplea un tiempo aproximado de 3.5 segundos, misma que ya no pierde durante todo el periodo de simulación, aún cuando se aprecia un pequeño sobresalto a los 10 segundos, provocado por el acomplamiento de la dinámica del control de φ (ver Fig. 5).

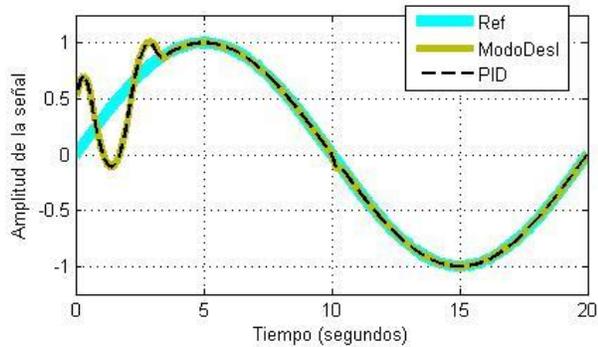


Fig. 4. Control de la embarcación en el eje Y.

En la Fig. 5, se aprecia la señal de referencia para φ , es decir, la guiñada de la embarcación, así como el comportamiento del buque bajo control PID y modo deslizante (con ganancias PID). La referencia es una onda cuadrada de 0.15 rad de amplitud y 0.05 Hz de frecuencia, donde las condiciones iniciales son de 0.52 rad. Se puede apreciar un control bastante exacto y suave, ya que no se producen sobreimpulsos a partir de que se alcanza el estado estable de guiñada. Esta es una variable fácil de controlar ya que se trata de la rotación del buque sobre el eje de guiño.

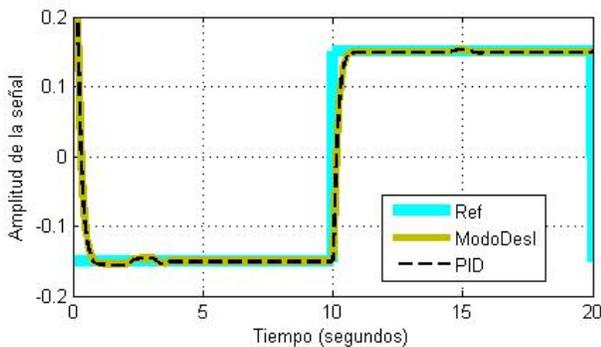


Fig. 5. Control de la embarcación en el eje N.

En la Fig. 6, se muestra la señal de control que genera el controlador PID (línea negra), en comparación con la señal generada por los modos deslizantes (línea verde). En esta imagen se visualiza la señal discontinua de alta frecuencia característica de los sistemas de estructura variable, comparada contra la señal continua del PID.

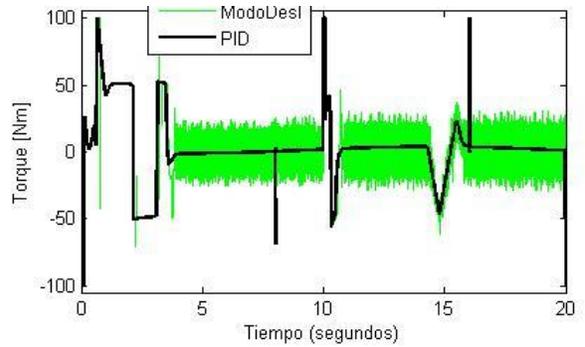


Fig. 6. Señales de control para mantener la embarcación en la referencia de φ .

Los resultados anteriores muestran un comportamiento casi idéntico de la embarcación, de las acciones de control tanto PID, como de los modos deslizantes (con ganancias PID), sin embargo, cambiar los parámetros de sintonización de los controladores, tiene un efecto sobre el desempeño de los controladores como se verá a continuación. El cambio radica en ajustar el valor de K_i , de 50 a un valor de 300, conservando todos los demás parámetros.

La Fig. 7, muestra el control del avance de la embarcación con este nuevo valor de $K_i=300$. Aparentemente la gráfica se ve igual que la Fig. 3, no obstante, al realizar un acercamiento en una sección (de 0.7 a 2.1 segundos), se aprecia una clara diferencia entre los dos controladores como se muestra en la Fig. 8, donde el PID nunca alcanza la convergencia sobre la señal de referencia, mientras que el modo deslizante la alcanza en aproximadamente 1.3 segundos, y mantiene forma robusta.

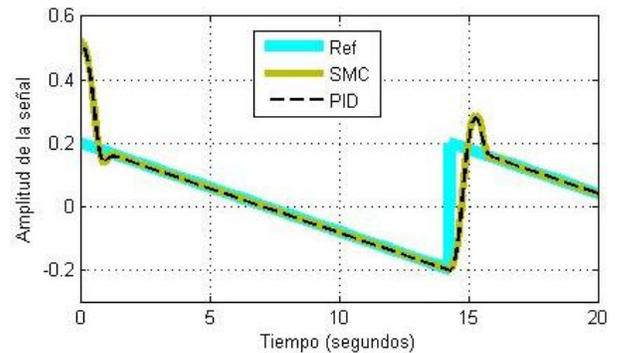


Fig. 7. Control de X con $K_i=300$.

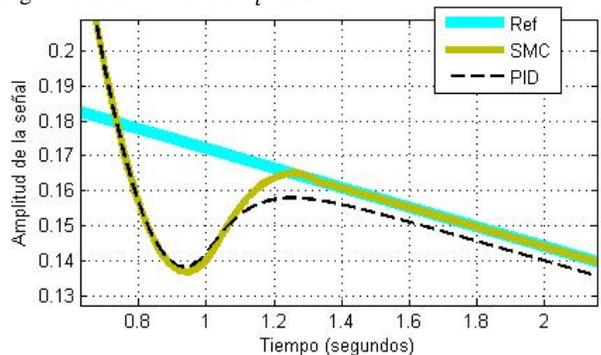


Fig. 8. Acercamiento en una región de la Fig. 6.

En la Fig. 9, no se requiere realizar acercamientos, ya que se aprecia como el modo deslizante termina su estado transitorio a los 3.5 segundos, mientras que el PID continúa oscilando con sobreimpulsos hasta los 5 segundos.

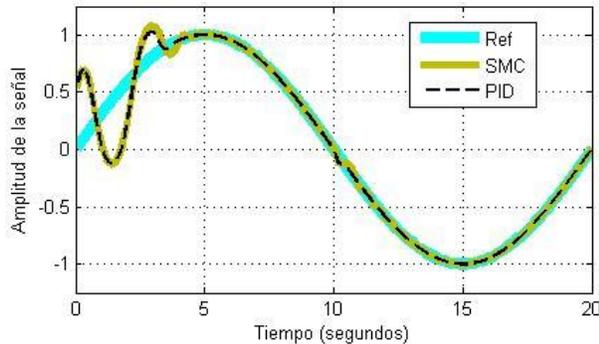


Fig. 9. Seguimiento de la referencia con $K_i=300$.

En la Fig. 10, se aprecia como el PID no se ajusta a la parte central de la línea de referencia, lo cual nos dice que no alcanza la convergencia, como sí lo hace el modo deslizante, bajo el nuevo valor de $K_i=300$.

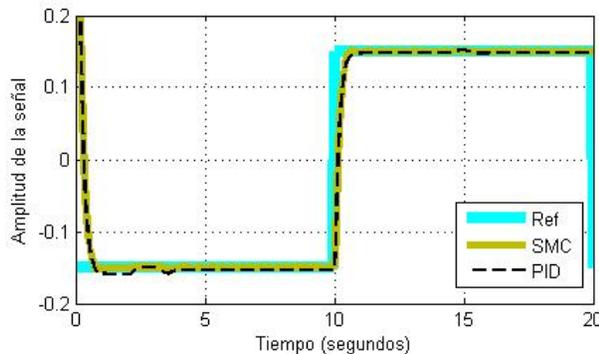


Fig. 10. Seguimiento de la onda cuadrada con $K_i=300$.

Cabe hacer notar que en las gráficas de seguimiento mostradas, no se aprecia de forma significativa el efecto de vibración o chattering. Las dinámicas de la embarcación representadas por las ecuaciones (4)—(5), contemplan efectos de amortiguamiento a vibraciones de alta frecuencia.

V. CONCLUSIÓN

Con el uso de los algoritmos de los Modos Deslizantes de ganancia variable, se obtiene un control más robusto de las principales variables de embarcaciones marítimas, comparado con el uso del controlador PID convencional. Debido a la lentitud de reacción de una embarcación marítima frente a la alta frecuencia de la señal de control de los Modos Deslizantes, no se aprecia en forma significativa el efecto de parloteo causado por estos sistemas de estructura variable, es decir, el fluido acuoso en el cual se desempeñan las dinámicas del buque, contribuyen a absorber vibraciones indeseables y por lo tanto a diluir el efecto chattering.

Los presentados en este artículo son resultados preliminares del trabajo de investigación iniciado en febrero del 2022 y que concluirá en su fase teórica en enero del 2023, quedando pendiente por reportar la parte medular del controlador propuesto, así como su respectivo análisis de estabilidad en el sentido de Lyapunov para sistemas de acoplamiento fuerte con tres grados de libertad.

El objetivo final al terminar el proyecto en su fase teórica, es establecer las condiciones para realizar implementaciones de tiempo real, es decir, aplicar los conceptos teóricos desarrollados sobre embarcaciones reales.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al TecMM por proporcionar los medios de investigación necesarios para la realización de este trabajo así como al apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT.

REFERENCIAS

- [1] G. N. Roberts, "Trends in marine control systems", *Annual Reviews in Control*, Volume 32(2), pp. 263-269, 2008.
- [2] M. J. Paulsen, "Nonlinear control of Marine Vehicles Using Only Position and Attitude Measurements", PhD Thesis, Department of Engineering Cybernetics, Norwegian University of Science and Technology, Norway, 1996.
- [3] Fridman, L., Moreno, J. and Iriarte, R. *Sliding Modes after the First Decade of the 21st Century: State of the Art*, 1st ed., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 2012.
- [4] Alvarez-Rodríguez et al., "Variable gains sliding mode control", *International Journal of Control Automation and Systems*, Vol. 17(3), pp. 555-564, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s12555-018-0095-9>.
- [5] Alvarez Rodríguez et al., "PID Principles to Obtain Adaptive Variable Gains for a Biorder Sliding Mode Control", *International Journal of Control Automation and Systems*, Vol. 8(10), pp. 2456-2467, 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s12555-019-0343-7>.
- [6] T.I. Fossan, *Guidance and control of ocean vehicles*, 1st ed., John Wiley and Sons Ltd., England, 1994.
- [7] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, 3ra ed., Prentice-Hall, Mexico, 1998.
- [8] B. Bandyopadhyay, S. Spurgeon, and S. Janardhanan, *Advances in Sliding Mode Control: Concept, Theory and Implementation*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 2013.
- [9] G. Bartolini, "Chattering phenomena in discontinuous control systems", *Int. J. Systems Sci.*, vol. 20, pp. 2471-2481, 1989.
- [10] I. Boiko and L. Fridman, "Analysis of chattering in continuous sliding mode controllers", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.59(2), pp. 1194-1207, 2005.
- [11] L. Dorel and A. Levant, *On Chattering-Free Sliding-Mode Control*, Proceedings of the 47th IEEE Conference on Decision and Control, Cancun, Mexico, 2008.
- [12] Y. Fang and T. Chow, *Chattering Free Sliding Mode Control Based on Recurrent Neural Network*, SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 98CH36218). IEEE. pp. 1726-1731, 1998.

- [13] L. Fridman, "An averaging approach to chattering", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 46, pp. 1260-1264, 2001.
- [14] A. Levant, "Sliding order and sliding accuracy in sliding mode control", *International Journal of Control*, vol. 58(6), pp. 1247- 1263, 1993.
- [15] A. Levant, "Chattering analysis", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 55(6), pp.1380-1389, 2010.
- [16] F. Plestan, Y. Shtessel, V. Bregeault and A. Poznyak, "New methodologies for adaptive sliding mode control", *International Journal of Control*, Taylor & Francis, 83(9), pp.1907-1919, 2010.
- [17] V. Utkin, J. Guldner and J. Shi, *Sliding Mode Control in Electromechanical Systems*, CRC Press, New York, N.Y., USA, 1999.
- [18] Y. J. Huang, T. C. Kuo, and S. H. Chang, "Adaptive sliding-mode control for nonlinear systems with uncertain parameters", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 38(2), pp. 534-539, 2008.
- [19] L. Yu, M. Zhang, and Z. Fei, "Nonlinear adaptive sliding mode switching control with average dwell-time", *International Journal of System Science*, vol. 44(3), pp. 471-478, 2013.

Estudios Preliminares para un Traductor de Lenguaje Subvocal

F. J. Luis Juan Barragán^{#1}, V. G. Villanueva^{#2}, J. C. Chávez Novoa^{#3}, M. A. Delgado López^{#4}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Chapala, Jalisco, México

¹francisco.luisjuan@chapala.tecmm.edu.mx, ²victor.gonzalez@chapala.tecmm.edu.mx, ³julio.chavez@chapala.tecmm.edu.mx, ⁴miguel.delgado@chapala.tecmm.edu.mx

Resumen— Este trabajo presenta avance del proyecto con procesamiento digital de señales, el cual genera las bases de construcción de un dispositivo para adquirir una señal proveniente de las cuerdas vocales del cuerpo humano, porque a través de ellas se puede obtener una gran fuente de información para la generación de una interfaz para el traductor del lenguaje subvocal, teniendo una gran relevancia en el ámbito del idioma español. La adquisición se da a través de un micrófono conectado a un amplificador de muy alta ganancia para detectar las vibraciones de las cuerdas vocales y así empezar a generar el algoritmo de caracterización en base al dominio de la frecuencia utilizando la transformada rápida de Fourier y con esto comparar los patrones predefinidos para determinar la palabra expresada.

Palabras clave—algoritmo, amplitud, cuerdas vocales, fonema, traductor

I. INTRODUCCIÓN

La sociedad debe prestar especial atención a la población que padece de discapacidades físicas o mentales. En este contexto el Instituto Nacional de Estadística y Geografía ha incorporado en los censos generales de población preguntas acerca de este segmento con la finalidad de generar información que coadyuve a generar conocimiento que permita su tratamiento, rehabilitación, e incorporación a la vida social del país. Así, en México al año 2020 hay 6, 179, 890 personas con algún tipo de discapacidad física o mental, o con un problema de salud considerable, lo que representa 4.9% de la población total. [4]

En el estado de Jalisco viven 595,000 personas discapacitadas. De la población con discapacidad, el 48% presenta limitaciones relacionadas con sus piernas o brazos, 15% habla o comunicación. [4]

Las personas que padecen la discapacidad de la falta del habla se puede dar por diferentes causas, como lo indica el siguiente investigador, “*el cerebro manda la señal a la laringe, puede estar dañada o no la tiene. El habla se genera a través del cerebro que es el centro de control del habla cuando nos comunicamos, el cerebro le transmite a la boca lo que tiene que decir, en definitiva, el habla es codificación de los pensamientos que llegan a nuestras cuerdas vocales a través de las señales nerviosas que se convierten así en palabras*”. [1]

Desde el año 1999 la NASA (por sus siglas en inglés, National Aeronautics and Space Administration) dio inicio con una serie de investigaciones que permiten trabajar en un

programa para desarrollar el sistema de habla subvocal, o habla interna, esto enfocado en el diseño de una forma de comunicación que pudiera ser utilizada durante las caminatas y construcción de las estaciones en el espacio.

La NASA ha desarrollado una tecnología que es capaz de transformar en palabras el habla subvocal que una persona emplea cuando lee en silencio o cuando habla consigo misma [2]. También se ha estado trabajando con señales electromiográficas para prótesis de músculos que se encontrarían en la mano o brazo de una persona.

Actualmente, en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Chapala, se trabaja en el desarrollo de sistemas para personas discapacitadas con problemas de audición y de lenguaje que actualmente se comunican mediante el uso del Lenguaje Mexicano de Señas. Las líneas de investigación seguidas son el procesamiento del lenguaje natural y el reconocimiento de señales.

En el área de procesamiento de señales se está trabajando en el reconocimiento de señales electromiográficas (EMG) y a través de detección de vibraciones, aplicadas al discurso subvocal (esto es, cuando el hablante no emite sonido, por ejemplo, al leer en voz baja). En este momento se cuenta con un sistema de adquisición de señales EMG, sin embargo, en la actualidad existen aplicaciones dirigidas a proyectos de investigación específicos no para la población en general sino para cierto grupo y actividades en particular, como por ejemplo el ejército, proyectos aeroespaciales y todo se encuentra enfocado en el idioma del inglés, además de que aún no se tiene una aplicación práctica debido a la falta de etapas de procesamiento.

Por lo cual realizando un dispositivo capaz de interpretar las vibraciones que generan las cuerdas vocales de una persona con discapacidad del habla podrá comunicarse en el entorno en que interactúa habitualmente.

El objetivo del proyecto de investigación es desarrollar un dispositivo que detecte las señales emitidas por las cuerdas vocales para la identificación de fonemas en individuos silentes a través de un algoritmo de caracterización que genere como resultados los descriptores de palabras.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación que actualmente se está realizando en las instalaciones del tecnológico es del tipo aplicada, porque se está buscando generar conocimiento con

una aplicación directamente de un problema actual que afecta a un porcentaje de la población de nuestro país, esto basado fundamentalmente en hallazgos tecnológicos de una investigación básica que genera un enlace entre la teoría y el producto al que se quiere llegar. Con un apoyo de la investigación o metodología cuantitativa usando datos numéricos que se podrán tratar mediante herramientas estadísticas en la identificación de patrones.

En la investigación se usa el método en primera instancia de la observación para una percepción directa que nos permita conocer la realidad de las frecuencias adquiridas y su comportamiento para generar el algoritmo de identificación de patrones, en el transcurso puede convertirse en un procedimiento propio del método utilizado en la comprobación de la hipótesis, ya que se hará una recolección de información de cada una de las variables.

La metodología propuesta para la adquisición de las señales emitidas por las cuerdas vocales es desarrollar un dispositivo que se conectará en la parte media del cuello de una persona con discapacidad del habla a la altura de la laringe, para generar una secuencia de recolección de vibraciones a través de un sensor de movimientos, posteriormente este paso entrará a un proceso de análisis de la misma, la cual lleva la implementación de amplificación y filtros para la limpieza de los datos obtenidos, finalmente entrará a un proceso de detección de patrones a través de un algoritmo de identificación de las ondas adquiridas de fonemas generados a través del cerebro y enviadas a las cuerdas vocales para poder identificarlas y dar como resultado un dispositivo que traduzca los pensamientos en sonidos. En la Figura 1 se muestra el diagrama del proceso a tomar en cuenta en el proyecto.

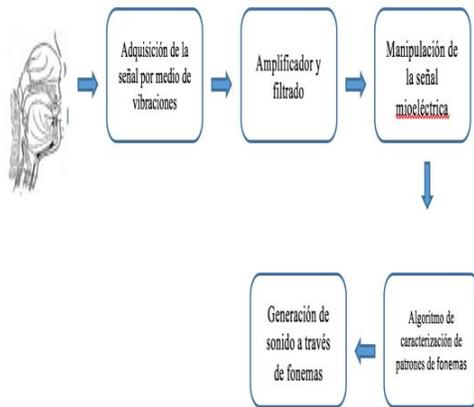


Fig. 1.- Diagrama a bloques Traductor Lenguaje Subvocal.

La metodología propuesta para la adquisición de las señales electromiográficas superficiales sigue el gráfico de la Figura 2. La primera etapa consiste en la adquisición de las señales EMG mediante el uso de un micrófono con un sensor integrado que identificará las señales y almacenará en una base de datos para poder analizarlas.

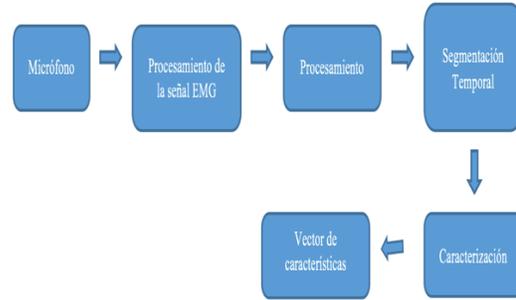


Fig. 2. Metodología para la caracterización de señales electromiográficas.

Las señales adquiridas tendrán como origen individuos de género masculino y femenino, abarcando un rango de edades de 17 a 45 años, la adquisición se llevará a cabo en un ambiente controlado en diversos instantes del día (mañana, medio día y en la tarde), para la adquisición se pedirá a los individuos que pronuncien de manera subvocal cada una de las vocales: a, e, i, o y u, además de fonemas como naranja, hola, uno, en una primera etapa experimental de identificación de los primeros patrones en base al algoritmo (Figura 3).

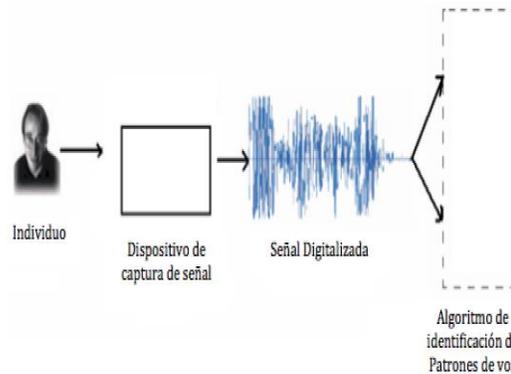


Fig. 3. Proceso de adquisición y procesamiento de la señal adquirida.

El siguiente paso es el preprocesamiento de la señal en el cual se aplicará un conjunto de filtros y transformaciones con el fin de acondicionar la señal que posteriormente será procesada. Una vez que se tenga la señal acondicionada se aplicará una segmentación temporal donde se normalizan y se recortan para tener registros de longitud estándar en el tiempo. Este procedimiento se realizará buscando el canal donde se presenta mayor energía y ubicando el punto inicial del movimiento como inicio de la venta. Una vez ubicado este punto se recortarán simultáneamente todos los canales.

Posteriormente se tiene que realizar el proceso de caracterización, utilizando su propio algoritmo y un conjunto de descriptores, por ejemplo, la transformada wavelet, la transformada Hilbert-Huang, y la transformada rápida de Fourier. El resultado será un conjunto de vectores característicos para cada vocal, lo cual permitirá construir un

plano multidimensional de patrones identificados para cada fonema.

Para la realización de estos procedimientos se llevará a cabo una investigación de campo y documental sobre los temas que se requieren para el desarrollo idóneo del proyecto.

A las personas que apoyen como voluntarios del proyecto se aplicará la técnica de prueba, es decir, pruebas del dispositivo y software para identificar si el sensor está trabajando de manera correcta y detectando las señales correspondientes que son necesarias para el proyecto, para dar paso al instrumento de medición de los datos a procesar y haciendo la evaluación adecuada que identifica el rango de valores de los fonemas detectados en los individuos.

III. RESULTADOS

El resultado que se ha logrado es la creación del dispositivo para detectar las señales electromiográficas a partir de las vibraciones que producen las cuerdas vocales, esta señal se va adquiriendo a través de un micrófono conectado a un amplificador de muy alta ganancia para detectar el tipo de señal que se requiere y así poder trabajar con su análisis y el proceso del algoritmo.

La primera versión del prototipo generado por la investigación y propuesto para este proyecto se trabajo con un sensor electromiográfico y electrodos para capturar la señal EMG generadas en la zona de la laringe del cuerpo humano, diseñando el software que recibía la señal para poder realizar el análisis de filtrado y eliminación del ruido con esto se pretendía una señal limpia que se ubicará entre los valores aproximados del rango entre la frecuencia y amplitud de una cierta palabra y así poder generar un patrón del fonema a través del algoritmo de caracterización, en la Figura 4 se muestra el diagrama del primer prototipo.

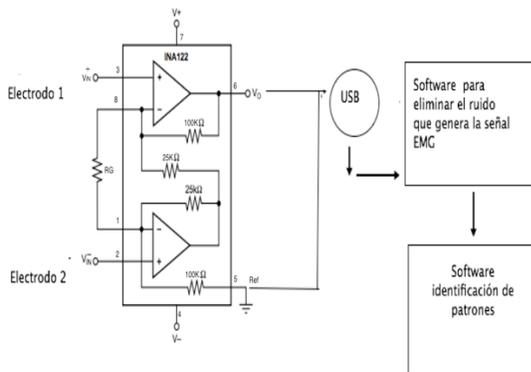


Fig. 4. Diagrama del primer prototipo del Traductor de Lenguaje Subvocal.

Este prototipo presentó el problema de no obtener de manera correcta la detección de señales por la baja intensidad de estas, lo que provocó que no llegara de manera ideal al proceso de eliminación del ruido y filtrado por la inestabilidad en los valores que se registraban en dispositivo, además de que los electrodos no eran los adecuados porque sólo se podían

estar utilizando una sola vez por ser desechables. En la Figura 5 se muestra la versión del dispositivo.

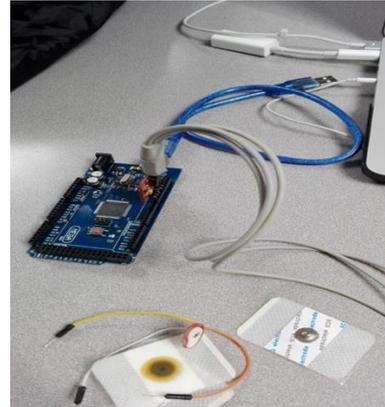


Fig. 5. Primera versión del prototipo.

Esta señal es capturada a través de un micrófono diseñado para detectar vibraciones de bajo nivel generadas por las cuerdas vocales a través de un microcontrolador Arduino Mega (Figura 6) con un puerto analógico (ADC), a una frecuencia específica, la cual convierte una señal analógica a una de tipo digital y está a su vez es enviada a la computadora a través de un medio de comunicación inalámbrico para su procesamiento. La interfaz que se diseño para recibir la señal de manera continúa procesa los datos obtenidos para así poder determinar las palabras que realizan grupos de captura en base a la amplitud de la señal, una vez obtenido un grupo, ese se procesa y se convierte al dominio de la frecuencia utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT) (1) [3], teniendo una frecuencia máxima que no sobrepase la frecuencia de la voz que oscila 1KHz. La señal en el dominio de la frecuencia es analizada para determinar las frecuencias base del grupo, las cuales se comparan con los patrones predefinidos para determinar la palabra.

$$\left. \begin{aligned} X(k) &= \sum_{j=1}^N x(j)\omega_N^{(j-1)(k-1)} \\ x(j) &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k)\omega_N^{-(j-1)(k-1)} \end{aligned} \right\} \omega_N = \exp\left(-\frac{2\pi i}{N}\right) \quad (1)$$

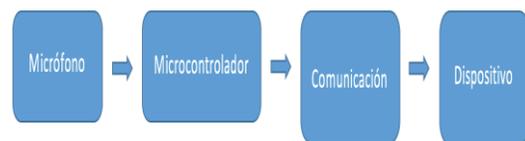


Fig. 6. Estructura del micrófono conectado al dispositivo.

Se realizó una prueba implementando el dispositivo a un joven de 18 años de edad que tiene problemas del habla, el proceso fue que se le ubicó el micrófono en la parte de la laringe donde se encuentra las cuerdas vocales para dar comienzo el proceso de adquisición de las señales y empezar

En las pruebas que se presentan intervienen dos palabras en particular, con el objetivo de analizar su comportamiento en cuestión de los valores y ver cómo se comporta el algoritmo de caracterización con los datos que se están introduciendo y así poder identificar el patrón de comportamiento de la palabra indicada, este proceso se contempla como fundamental en el proyecto, en esta etapa del proyecto se trabaja realizando las modificaciones correspondientes por la complejidad del mismo.

Las señales obtenidas de las regiones musculares del cuello en dirección de la laringe se identificó diferentes unidades motrices laríngeas las cuales son bastantes pequeñas y oscilan entre los 215 a 340 microvoltios con una duración media de 3.1 a 4.7 milisegundos. Esto está dado por una causa natural del cuerpo humano, porque este genera una resistencia eléctrica natural de la piel, lo que indicó que en las pruebas necesitábamos usar un filtraje y amplificación de los datos más eficiente.

IV. CONCLUSIÓN

Los resultados que se llevan hasta el momento han demostrado ser confiables y satisfactorios dentro de las primeras pruebas seleccionadas para las necesidades actuales del proyecto y especialmente a los requerimientos del joven que interactuó con el dispositivo, donde se obtuvieron datos a procesar para la construcción de fonemas a través de la identificación de patrones. Se llevaron a cabo 50 muestras con el joven con problemas del habla y otras 50 con una persona que no tiene el problema, de estos se logró identificar un 60% de aciertos comparando las dos muestras, dando efectividad en el algoritmo, pero se tiene que mejorar más para que el porcentaje de aciertos pueda ser más fiable con respecto a las pruebas que se llevaron a cabo.

La interfaz visual mostró ser capaz de leer y almacenar todos los valores que llegan por parte del dispositivo con datos libre de ruido y con calidad. El tiempo de llegada de los datos son en milisegundos frente al número de señales adquiridas

durante la generación de las vibraciones hechas por las cuerdas vocales, esto dando como resultado que se esté almacenando la información en los arreglos correspondientes del software para poder generar las graficas y así identificar los patrones del fonema a buscar en base a las ondas mostradas en pantalla.

El alcance hasta el momento de la investigación realizada ha sido satisfactorio por los resultados obtenidos hasta a la fecha, se requiere seguir trabajando en la mejora de los algoritmos y así identificar los patrones de los fonemas para llegar a un resultado eficiente para el proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue desarrollado gracias al trabajo de los profesores investigadores y a la cooperación de personas e instituciones que ayudaron a las investigaciones de esta fase del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] M. Callahan. (2014) Proyecto Aurea. [En línea]. Disponible en: <http://iipdigital.usembassy.gov/st/spanish/article/2008/01/20080102183242f10.8968622.html#axzz4S4R9Rz4p>
- [2] C. Martin. (2006) Novedades científicas. [En línea]. Disponible en: <https://www.novaciencia.com/2006/10/29/>.
- [3] A. F. Garcia. (2016) MATLAB Análisis de los datos. [En línea]. Disponible en: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/fourier/fourier_1.html.
- [4] INEGI. (2020) Cuéntame. [En línea]. Disponible en: <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx>.
- [5] J. A. Gutiérrez Calderón, E. N. Gama Melo, D. Amaya Hurtado and O. F. Avilés Sánchez, "Desarrollo de interfaces para la detección del habla sub-vocal", *Tecnura*, 17(37), pp.138-152, 2013.
- [6] L.J. Hargrove, K. Englehart, and B. Hudgins, "A comparison of surface and intramuscular myoelectric signal classification", *IEEE transactions on biomedical engineering*, 54(5), pp.847-853, 2007.

Implementación de una Plataforma Digital del Internet del Comportamiento (IoB) en el Sector Gastronómico

Etapa 1 – Estudio de Campo Ocotlán

O. R. Rojo Roa^{#1}, G. Ramírez Pimentel^{#2}, V. Paz Robles^{*3}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Informática, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapotlanejo, Jalisco, México

^{*}Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica El Grullo, Jalisco, México

¹osvaldo.rojo@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, ²gramirez@zapotlanejo.tecmm.edu.mx,

³vidal.paz@elgrullo.tecmm.edu.mx

Resumen—La pandemia del COVID-19, ha causado una afectación a la economía de las personas y el ramo restaurantero no es la excepción, se ha afectado a los dueños y trabajadores, lo cual causa un problema en los ingresos de las familias, se detectó la gran problemática que existe en el sector gastronómico que tienen deficiencias en la aplicación de las nuevas tecnológicas y ahora con la epidemia que inicio en 2019, los problemas fueron notables, llegando a cerrar por varios días, meses e incluso definitivamente, afectando gravemente la economía de este sector, es por esto, que se tiene como objetivo recolectar información de los negocios restauranteros. Se presenta un nuevo método de investigación para indagar sobre lo que sucede en las comunidades de manera virtual llamado “netnografía”. Los resultados obtenidos permiten analizar la viabilidad de implementar una plataforma digital que combine analítica de datos y ciencia del comportamiento; en segunda etapa para hacer uso de la información recabada y convertirla en conocimiento, con la finalidad de realizar toma de decisiones y para influir en el comportamiento de los consumidores de productos alimenticios. Con la finalidad de contar con elementos certeros para el logro del objetivo planteado, se procedió a realizar un estudio virtual en internet sobre los entes restauranteros y/o gastronómicos del municipio de Ocotlán, Jalisco; es necesario señalar que la investigación se realizará en algunos municipios del estado de Jalisco.

Palabras clave—IoB, Internet del Comportamiento, Analítica de Datos, Innovación Tecnológica.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el uso de las nuevas tecnologías es una actividad que el ser humano utiliza en su vida cotidiana, para poder comunicarse, enterarse de lo que pasa en el mundo, entre otras actividades, de tal forma, se están aprovechando de esta situación actividades económicas que no lo habían explotado, donde su único propósito era el de promover sus productos y/o servicios. La industria o comercio de alimentos, es una actividad primordial para el ser humano, ya que se tiene la posibilidad de vender artículos para que los usuarios los puedan cocinar, como la posibilidad de poder comprar los alimentos, esto último tiene una gran competencia, debido a la gran cantidad de restaurantes y comercios que ofrecen una gran variedad de comida, con diferentes sazones, ingredientes,

que causan una guerra comercial por los mejores productos. Actualmente se ha generado tres vías para la adquisición de alimentos, los que venden exclusivamente dentro de un local, los que venden en el establecimiento y con servicios a domicilio; y lo que venden exclusivamente a domicilio, donde estos últimos tienen la desventaja de ver los alimentos cuando ya los compraste. Considerando lo anterior según Garduño y Col. [1], comentan que 69% de los consumidores prefieren comprar en tiendas físicas, por lo cual la implementación de las tic's no solo debe de aplicarse para publicidad, sino también para la toma de decisiones.

II. CONTEXTO PREVIO

La industria restaurantera, además, ha sido uno de los principales sectores para la economía nacional y uno de los generadores de empleo más importantes en las últimas décadas, gracias a su relación directa con el turismo, que aporta cerca del 9% al PIB de México [2].

Pero con lo vivido con el Covid-19, el sector restaurantero, fue uno de los más golpeados ante las restricciones y cierres derivados por la pandemia que sufrió a nivel nacional el 17% de los empleos perdidos [3].

Mientras la economía mexicana total cayó 8.2% en 2020 por el paro de actividad que implicaron los confinamientos y restricciones, la contracción en la industria restaurantera fue tres veces más fuerte. En el año Covid-19 este sector presentó una caída de 29.3%, de acuerdo con cifras elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) en conjunto con la Cámara Nacional de la Industria de Restaurantes y Alimentos Condimentados (Canirac) [4]. Los restaurantes, bares, loncherías o cafeterías fueron de los primeros en cerrar sus puertas cuando el nuevo virus tocó el territorio mexicano por considerarse actividades no esenciales.

Por lo tanto, representantes de la Cámara Nacional de la Industria Restaurantera y de Alimentos Condimentados (Canirac), Gentera, Coca-Cola México y reunidos en el Expansión Summit 2021, coincidieron en que la crisis generada por el coronavirus aceleró el cambio tecnológico que

ya había iniciado desde antes, pero en el que no muchas compañías se habían sumergido y en menos de un año las empresas tuvieron que implementar servicios de entrega a domicilio, aprender nuevos modelos de negocio como las dark kitchens, migrar a menús digitales e invertir para fortalecer sus cadenas de suministro [5].

Considerando esto, es importante que los comerciantes y productores de alimentos puedan tener un refuerzo e incluso información sobre cual es el comportamiento de sus clientes, para poder proporcionar un valor agregado a sus productos o un marco comparativo para poder posicionarse a nuevos clientes. Con el uso del internet de las cosas (IoT), las nuevas tecnologías y los dispositivos inteligentes, crear una posibilidad de obtener de manera segura sin afectar a nadie, información importante sobre los comportamientos, interés y preferencias de las personas, a lo cual se denomina el internet del comportamiento (IoB), como lo menciona Softek, en su página web. El IoB intenta comprender los datos recopilados de la actividad en línea de los usuarios desde una perspectiva de psicología conductual [6].

III. REGIÓN DE ESTUDIO

Ocotlán significa: “junto a los pinos”; también se ha interpretado como “lugar de pinos u ocotes”. El municipio de Ocotlán pertenece a la Región Ciénega, su población en el 2015 según la Encuesta Intercensal era de 99 mil 461 personas; 48.8 por ciento hombres y 51.2 por ciento mujeres, los habitantes del municipio representaban el 24.7 por ciento del total regional. Comparando este monto poblacional con el del año 2010, se obtiene que la población municipal aumentó un 7.0 por ciento en cinco años [7].

IV. RESEÑA HISTÓRICA

Ocotlán fue cacicazgo perteneciente al reino o señorío de Coinan, y tenía bajo su tutela a Zula, Jamay y Joconoxtle. En el primer tercio del siglo XVII, pertenecía a la alcaldía mayor de Poncitlán. En 1825 ya tenía Ayuntamiento perteneciente al Tercer Cantón de La Barca. Por decreto del 5 de octubre de 1886, se suprimió el municipio de Poncitlán y todas sus comisarías se agregaron al de Ocotlán, y el 20 de febrero de 1888 el municipio de Ocotlán perdió la comisaría de Poncitlán, que volvió a ser municipalidad.

No se conoce exactamente la fecha de creación del municipio de Ocotlán, pero ya se menciona como ayuntamiento en las Estadísticas de la Provincia de Guadalajara de fecha 15 de agosto de 1823. Por decreto del 9 de abril de 1906, se le concedió el título de villa al pueblo de Ocotlán y el 22 de agosto de 1963 se aprobó el decreto número 7845, en el cual se disponía que “por su importancia en todos los órdenes y como estímulo al esfuerzo y a la amplia labor desarrollada por sus habitantes”, se elevara a la categoría de ciudad, la Villa de Ocotlán [5].



Fig. 1 Escudo de Ocotlán.

V. DESCRIPCIÓN DEMOGRÁFICA

El municipio en 2010 contaba con 52 localidades, de las cuales, 6 eran de dos viviendas y 17 de una. La cabecera municipal de Ocotlán es la localidad más poblada con 83 mil 769 personas, y representaba el 90.1 por ciento de la población, le sigue San Martín de Zula con el 2.6, San Vicente (Labor Vieja) con el 1.2, Joconoxtle (La Tuna) con el 1.1 y San Andrés con el 0.8 por ciento del total municipal.



Fig. 2 Ubicación

VI. ECONOMÍA

Conforme a la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI, el municipio de Ocotlán cuenta con 6,486 unidades económicas al mes de noviembre de 2019 y su distribución por sectores revela un predominio de unidades económicas dedicadas al comercio, siendo estas el 43.25% del total de las empresas en el municipio.

Ocupa la posición 10 del total de empresas establecidas en el estado y el lugar número 1 en el ranking regional, como se muestra en la figura 3.

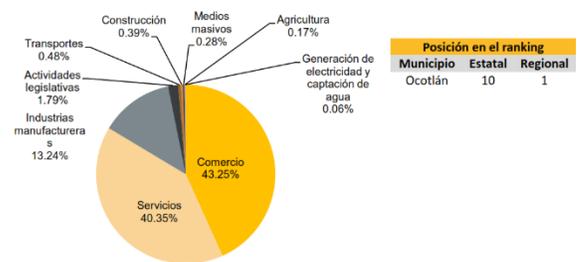


Fig. 3 Distribución de las unidades económicas de Ocotlán en abril 2019

sobre todo las tendencias con respecto al uso de tecnologías para el 2022, según datos de [8].

VIII. CONCLUSIONES

En lo que corresponde a las plataformas digitales que las empresas emplean para colocar sus productos, del 38.8% que las realiza, el 15.3% realiza sus ventas mediante Instagram y Facebook, el 12.9% solo mediante Facebook, 3.5% por WhatsApp y Facebook, 2.4% por Mercado Libre y Facebook, otro 2.4% por Amazon y Mercado Libre, finalmente otro 2.4% realiza sus ventas mediante su propia tienda en línea y Facebook, como se puede apreciar, las redes sociales son los principales canales de comercio electrónico para las MIPYMES.

Los negocios que ofrecen sus productos en línea usan las redes sociales como primer paso para tener una presencia digital, además de contar con página web del producto o por medio de plataformas como Mercado Libre o Amazon para lograr una mayor presencia [7].

Por tal motivo, el poder implementar mediante las nuevas tecnologías en la recolección de datos y que hacer con estos datos mediante el internet del comportamiento ayudaran a los negocios, posicionarse como una elección preferida entre la comunidad local, asegurándose que sus servicios sean accesibles. Por lo tanto, la segunda etapa de este proyecto se ve muy viable.

IX. REFERENCIAS

- [1] M. Garduño. (2022) Pese a ecommerce y pandemia, 69% de consumidores prefiere comprar en tiendas físicas, *FORBES México*. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/negocios-pese-pandemia-ecommerce-69-consumidores-prefieren-comprar-tiendas-fisicas/>
- [2] A. K. García, La crisis de la industria restaurantera fue tres veces más profunda que la de la economía nacional, *Industria Restaurantera*. [En línea]. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/La-crisis-de-la-industria-restaurantera-fue-tres-veces-mas-profunda-que-la-de-la-economia-nacional-20211029-0093.html>.
- [3] M. Garduño. (2022) 17% de los empleos perdidos son del sector restaurantero: CROC. *FORBES México* [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/negocios-perdida-empleos-restaurantes/>.
- [4] ExpansiónMX. (2021) La pandemia aceleró la digitalización de los pequeños negocios. [En línea]. Disponible en: <https://expansion.mx/empresas/2021/09/07/pandemia-acelero-digitalizacion-pequenos-negocios>.
- [5] IIEG Jalisco. (2020) Información Social y Demográfica. Principales características demográficas por municipio [En línea]. Disponible en: <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2020/09/Ocotl%C3%A1n-2.pdf>.
- [6] SOFTTEK. (2021) ¿Qué es el Internet del Comportamiento (IoB) y por qué es el futuro? [En línea]. Disponible en: <https://softtek.eu/tech-magazine/user-experience/que-es-el-internet-del-comportamiento-iob-y-por-que-es-el-futuro/#:~:text=proporciona%20informaci%C3%B3n%20valiosa%20sobre%20los,una%20perspectiva%20de%20psicolog%C3%ADa%20conductual>.
- [7] Lían Digital. (2021) Tendencias tecnológicas para restaurantes en 2021. [En línea]. Disponible en: <https://itcomunicacion.com.mx/tendencias-tecnologicas-para-restaurantes-en-2021/>.
- [8] I. Palomera. (2021) IOB: el acrónimo que marcará tendencia en 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/red-forbes-iob-el-acronimo-que-marcará-tendencia-en-2021/>.

Proceso de Desvulcanización de Residuos de Caucho Mediante Solventes No Polares y Derivados Ácidos de Compuestos Sulfurados

G. A. Torres Ávalos^{#1}, L. C. López Ureta^{*2}, E. Martínez Orozco^{&3}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Civil, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México

^{*}Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapopan, Jalisco, México

[&]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas, Jalisco, México

¹gerardo.torres@lagos.tecmm.edu.mx, ²luzcecilia@zapopan.tecmm.edu.mx,

³edgardo.martinez@arandas.tecmm.edu.mx

Resumen— La industria hulera está compuesta por tres principales sectores productivos: i) Hule natural y sintético, ii) Neumáticos y iii) Productos de hule. El segmento de los neumáticos representa alrededor de tres cuartas partes del total del uso del hule y constituye, por lo tanto, un indicador clave del comportamiento de la industria. En el presente artículo se describen una serie de reacciones químicas y procesos mediante los cuales es posible realizar un proceso de desvulcanizado de residuos de caucho. En dicho proceso se hacen reaccionar partículas previamente molidas de caucho con un ácido que presente azufre en su estructura tal y cómo el ácido tioglicólico en un solvente orgánico no polar tal como el benceno, todo esto en forma de suspensión en un lecho controlado a reflujo a temperatura constante durante periodos de tiempo que varían según la degradación deseada del caucho.

Palabras clave— caucho, degradación ácida, hule, neumático, vulcanizado.

I. INTRODUCCIÓN

El reciclaje de llantas usadas, es una alternativa factible dentro del marco social y económico, a partir de pequeñas organizaciones que ven en este proceso, una oportunidad para solucionar parcialmente la contaminación ambiental (calidad del aire) de la capital del país; también se visualiza una oportunidad de construir tejido social por parte de las Universidades, al tener cercanía con los actores involucrados en el proceso de disposición de los residuos a transformar, los cuales en su mayoría son personas dedicadas a la venta de estos materiales desechados, algunos para ganar el sustento de su familia [1].

Los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras (resistencia al ozono, luz y bacterias) lo que los hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo y presentan una alta capacidad calorífica, que dificulta su extinción en caso de incendio. Además, los neumáticos enteros limitan, por su forma y tamaño, la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactables y son refugio ideal de insectos y roedores y acumulan gases y lixiviados. La fabricación de neumáticos es un proceso complejo que engloba el consumo

de materias primas procedentes de fuentes no renovables, caucho sintético, acero, agua y que requiere elevadas cantidades de energía en su fabricación. En el proceso productivo se generan altas emisiones y se requiere de inversiones en medidas preventivas y correctoras [2].

El tamaño del mercado mundial del caucho se situó en 40 770 millones de USD en 2019 y se prevé que alcance los 51 210 millones de USD en 2027, con una tasa de crecimiento anual compuesto previsto del 5.3%. La resistencia al calor y a la abrasión hacen del caucho una materia prima muy útil y valiosa en diversas industrias. Se utiliza principalmente en la fabricación de productos como neumáticos, tubos de basura, adhesivos, mangueras, juntas y revestimientos de rollos. Se utiliza principalmente en la fabricación de neumáticos debido a sus fuertes propiedades, como la resistencia al desgarramiento y la tenacidad. También funciona en condiciones de baja temperatura. Es un material perfecto para la fabricación de neumáticos y, por lo tanto, representa más del 40 % de la participación en la composición total del neumático [3].

En los procesos de desvulcanización de caucho que se emplean actualmente, se añade aceite y un agente de recuperación al polvo de caucho regenerado, mismo que se somete a altas temperaturas y presión por largos periodos de tiempo. Posteriormente, el caucho suele requerir un post-tratamiento mecánico. El caucho recuperado tiene propiedades alteradas y no es apto para ser empleado en la fabricación de neumáticos. Por lo anterior, se ha buscado desarrollar procesos de desvulcanización que faciliten el proceso y a partir de los cuales no se degraden las propiedades del caucho, permitiendo ampliar las posibilidades de uso del caucho reciclado [4].

El proceso de reciclaje comúnmente comprende una etapa de trituración después de la cual, se busca emplear el caucho para la manufactura de productos que no requieren vulcanización al ser este proceso muy costoso y difícil ya que requiere la desvinculación de las moléculas de azufre de las moléculas de caucho, para después poder formar nuevos enlaces entrecruzados [5].

Se ha observado que, para desvincular los enlaces de azufre, conviene que dicho compuesto contenga el grupo HS- en su estructura. Un ejemplo de este tipo de compuestos serían los tioglicolatos o ácidos tioglicólicos como lo propone Kinoshita [6]. Sin embargo, el transporte de dicho compuesto hasta las moléculas del caucho se ve obstaculizado por las ramificaciones del polímero. Es por lo anterior que se ha propuesto el uso de aceites, los cuales tienden a hinchar la superficie del caucho, aumentando los choques entre las moléculas reactivas que contienen el grupo mencionado y facilitando así el proceso de desvulcanización. En este tipo de procesos de hinchamiento del caucho se emplean agentes desvulcanizadores con un aceite para facilitar su aplicación [6-7].

Otros casos conocidos de desvulcanización es la termólisis de neumáticos, caucho natural y caucho de estireno-butadieno que se llevan a cabo en agua subcrítica y supercrítica utilizando un reactor tubular por lotes ajustable independiente de temperatura y presión [8]. Resultando aceite y otros compuestos de interés económico, pero en este caso se prefiere utilizar medios de reacción relativamente suaves.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se eligieron las partículas de caucho de molienda entre 0.1 y 3 mm de diámetro efectivo según las técnicas granulométricas descritas por Bonifácio y col. [9].

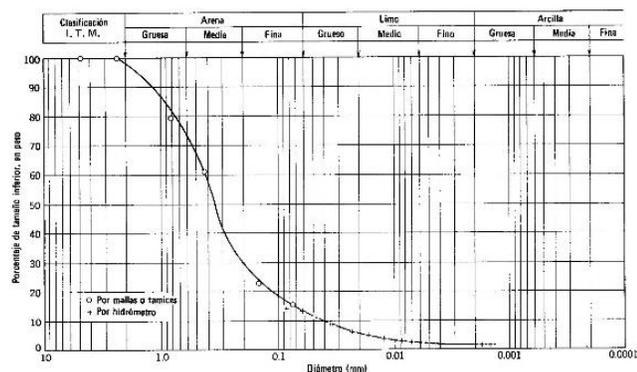


Fig. 1. Diagrama utilizado para la elección del tamaño de partícula con técnicas granulométricas.

Se utilizó de benceno grado reactivo 99+% de pureza junto con ácido tioglicólico 98% de pureza, ambos de Sigma Aldrich en las reacciones donde se pudo observar degradación del caucho.

Se montó un equipo para las reacciones químicas a reflujo tal y como se muestra en la Figura 2.

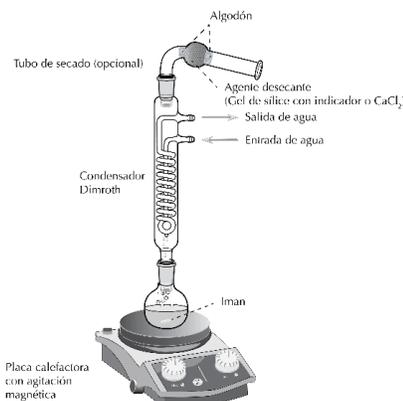


Fig. 2. Equipo de reflujo utilizado para la desvulcanización del caucho.

Se realizaron varias pruebas para tratar de establecer los medios de la reacción que fueran apropiados para poder descomponer el caucho. Entre estas se eligieron aquellas que tuvieran condiciones óptimas para romper enlaces disulfuro como las mencionadas por Mthembu y col. [10] que es el que se encuentra en mayor proporción en el caucho, tanto natural como sintético tal como se aprecia en la figura 3.

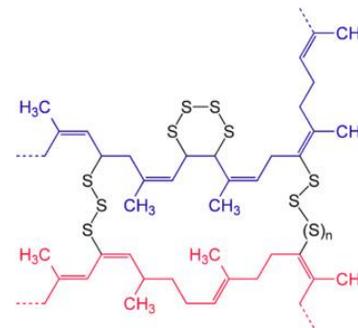


Fig. 3. Estructura molecular representativa del caucho vulcanizado.

Con toda la información de la literatura científica y en las patentes citadas se fueron acondicionando medios de reacción y por prueba y ensayo se llegó a los resultados mostrados en cada uno de los siguientes ensayos:

1) Se realizó un ensayo empleando cloruro de aluminio donde se trituraron 5.4 g de caucho vulcanizado hasta obtener un tamaño de partícula entre 0.1 y 3 mm de diámetro efectivo. A esta muestra de caucho, se le dio un tratamiento térmico con 50 mL de una solución acuosa de cloruro de aluminio hexahidratado al 5% a 90°C con reflujo durante 12 horas. No se observó ningún cambio a nivel macroscópico, lo que revela nula desvulcanización.

2) En el segundo ensayo se hizo empleando hidróxido de sodio donde se trituraron 6.2 g de caucho vulcanizado para un tamaño de partícula 0.1- 3 mm de diámetro efectivo. A esta muestra de caucho, se le dio un tratamiento térmico con 50 mL de una disolución al 10% de NaOH durante 12 horas a

90°C con reflujo. No se observó ningún cambio, lo que indica que no se logró desvulcanizar el caucho.

3) En un tercer ensayo se empleó cloruro de aluminio anhidro y xileno y se trituraron 5.8 g de caucho vulcanizado hasta obtener un tamaño de partícula entre 0.1 y 3 mm de diámetro efectivo. A esta muestra de caucho, se le dio un tratamiento con una solución al 5% de cloruro de anhidro en xileno. Se observó un cambio en la coloración de caucho, lo que indica un cambio en la superficie, pero no necesariamente la desvulcanización.

4) Se realizó un cuarto ensayo para observar el efecto del xileno y del aceite en el caucho vulcanizado. Se trituraron 6.45 g de caucho vulcanizado para obtener un tamaño de partícula 0.1-3 mm de diámetro efectivo. Esta muestra de caucho se mezcló en un matraz bola con una mezcla de xileno y aceite con agitación constante y reflujo a 60 °C. Después de las 12 horas del proceso, se observó un hinchamiento de las partículas de caucho. Dichas partículas fueron filtradas, lavadas con una mezcla de acetona-DMSO y secadas. Se detectó un incremento del 5% en la masa de las partículas de caucho.

5) En un quinto ensayo para observar el efecto del xileno, se trituraron 6.45 g de caucho vulcanizado hasta obtener un tamaño de partícula promedio entre 0.1 y 3 mm de diámetro efectivo. Esta muestra de caucho se mezcló en un matraz bola con xileno con agitación constante y reflujo a 60°C. Después de más de 2 semanas del proceso, se observó un hinchamiento de las partículas de caucho. Dichas partículas fueron filtradas, lavadas con una mezcla de acetona-DMSO y secadas. Se observó un incremento del 5% de masa de las partículas de caucho. Se llega a la conclusión de que la mezcla de xileno con aceite acelera el proceso de hinchamiento del caucho.

6) Se realizó un sexto ensayo empleando una mezcla de aceite, tolueno y cloruro de aluminio donde se trituraron 5.5 g de caucho vulcanizado hasta obtener un tamaño de partícula promedio entre 0.1 y 3 mm de diámetro efectivo. A esta muestra de caucho, se le dio un tratamiento térmico en un matraz bola de 500 mL con una mezcla de aceite y tolueno en una razón 1:1 y cloruro de aluminio anhidro durante 24 horas a 60°C. Después de 24 horas, se observa únicamente el hinchamiento del caucho, el cloruro de aluminio permanece en suspensión y no se disuelve en la mezcla, no se observaron indicios de desvulcanización.

7) El séptimo ensayo para observar el rompimiento de los enlaces S-S del caucho vulcanizado. Se colocaron 7.5 g de caucho vulcanizado triturado en un matraz bola de 500 mL, al que se le añadieron 35 g de una mezcla de aceite y tolueno en una razón 1:1 y 2 g de ácido alfa lipólico. La mezcla se sometió a un tratamiento térmico con reflujo a 60°C. Después de 48 horas, se observa que la mezcla se torna negra, indicando una ligera desvulcanización. El caucho obtenido es pesado y se observa que la masa permanece constante, lo que indica poco avance.

8) Se realizó un octavo ensayo para observar el rompimiento de los enlaces S-S del caucho vulcanizado

empleando un compuesto que contenga enlaces -SH. Se colocaron 5.8 g de caucho vulcanizado triturado junto con 35 mL de mezcla de aceite con xileno al 1:1 y 2 g de ácido tioglicólico en un tratamiento térmico con reflujo a 60°C. En este ensayo, se detectaron fuertes olores a azufre y poco avance en la reacción de vulcanización.

9) En un noveno ensayo para observar el rompimiento de los enlaces S-S del caucho vulcanizado empleando tioglicolato de potasio. Se emplearon 4.67 g de caucho vulcanizado triturado, mismos que fueron añadidos a un matraz bola de 500 mL junto con 50 mL de una mezcla 1:1 de aceite- tolueno y 0.5 g de tioglicolato de potasio en suspensión. La mezcla se sometió a un tratamiento térmico a 80°C con reflujo. Después de 48 horas de reacción, se observa un aumento en el contenido de partículas negras que oscurecen la suspensión. Se dejó enfriar la mezcla y se le añadieron 50 mL de acetona para disminuir la viscosidad de la mezcla. Se separaron las partículas por filtración y se pesó el caucho recuperado. La masa de las partículas recuperadas fue de alrededor de 0.659 g, lo que indica que se logró la desvulcanización de una buena cantidad del caucho.

10) Se realizó un décimo ensayo para observar la recuperación de caucho, se trituraron 5.37 g de caucho vulcanizado hasta obtener un tamaño de partícula de entre 0.1 y 3 mm de diámetro efectivo. Las partículas fueron añadidas a un matraz bola al cual se agregaron 50 mL de una mezcla 1:1 de aceite-tolueno y 0.987 g de una suspensión de tioglicolato de potasio. Se dejó reaccionar la mezcla durante 48 horas a una temperatura de 80°C con reflujo. Una vez terminado el proceso, se enfrió la mezcla, se añadieron 50 mL de acetona para disminuir la viscosidad y se separaron las partículas de caucho por filtración. La masa de las partículas recuperadas fue de alrededor de 0.959 gramos, lo que indica que se recuperó más de una sexta parte del caucho inicial.

11) Se realizó un décimo primer ensayo para observar la capacidad que tiene el caucho recuperado para absorber cobre. Se adicionaron 0.96 g de partículas del caucho recuperado a 20 mL de una disolución 0.01M de sulfato cúprico. Después de 20 h se determinó su concentración final por medio de espectrofotometría y una técnica en la que se emplea amonio para formar un complejo de $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$. La concentración final del sulfato cúprico se determinó mediante una curva de calibración realizada con anterioridad dando como resultado una concentración final del sulfato de cobre de 0.0849M, lo que demuestra que el caucho absorbió la mayor parte del cobre de la solución.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cada ensayo se muestran en la Tabla 1, se puede demostrar gravimétricamente en el ensayo 10 y visualmente en el ensayo 11 que se ha encontrado una forma para degradar el caucho por métodos químicos, en los cuales es necesario el uso de un catalizador y el empleo de una mezcla aceite/solvente no polar.

TABLA I
CUADRO COMPARATIVO DE LOS DIVERSOS ENSAYOS REALIZADOS
PARA DESVULCANIZAR EL CAUCHO EN DONDE SE INDICAN LAS
CONDICIONES DE REACCIÓN Y LOS RESULTADOS

Ensayo	Condiciones	Resultado
1	AlCl ₃ 5%, 90°C	Ninguno
2	NaOH, 10% 90°C	Ninguno
3	AlCl ₃ al 5% Xileno, 90°C	Ninguno
4	C ₈ H ₁₀ -aceite mineral	Ninguno
5	C ₈ H ₁₀	Micropartículas después de 336 horas de reacción
6	Aceite, C ₇ H ₈ y AlCl ₃	Hinchamiento sin reacción química
7	Aceite- C ₇ H ₈ + C ₈ H ₁₄ O ₂ S ₂ 60°C	Ligera desvulcanización
8	C ₂ H ₄ O ₂ S, xileno y aceite	Ninguno
9	Tioglicolato de potasio, aceite-tolueno 80°C	Se observa desvulcanización

Es preciso mencionar que esta es la base para continuar con futuras investigaciones que permitan caracterizar los productos de una manera más precisa cómo por ejemplo con Técnicas SEM, Técnicas Espectroscópicas, etc. además de estudiar otras condiciones de reacción que quedaron fuera del alcance de esta investigación puesto que en cuanto se “inventó” el proceso de desvulcanizado se procedió a realizar el registro de la Propiedad Intelectual. Entre ellas podemos mencionar por ejemplo el uso de presiones elevadas para acelerar el proceso o el uso de otro tipo de catalizadores de la serie de compuestos con –HS.

IV. CONCLUSIÓN

Para el desarrollo de nuevas tecnologías como la presente es imprescindible realizar una parte experimental por ensayo y error para hacer un análisis posterior que ayude a determinar las condiciones de reacción, así como los reactivos y catalizadores necesarios para, como en nuestro caso desvulcanizar el caucho. Si bien el porcentaje de avance de la reacción de desvulcanización en estos ensayos fue bajo, se tienen las bases necesarias para que se incrementen los rendimientos al modificar variables del proceso como la presión y la temperatura de reacción.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial agradecimiento a la Dra. María Eugenia Amador Murguía, Directora de la Unidad Académica Lagos de Moreno del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez por el apoyo para la realización de este desarrollo tecnológico, así como al apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT. A la empresa de fertilizantes orgánicos

LIXIUS, por compartir datos del manejo ecológico que le dan al cultivo de agave. Se agradece de manera especial al señor Abel Camarena, por dejar realizar esta investigación en sus terrenos de cultivo.

Además, un agradecimiento especial al Mtro. José Rodolfo Muñoz Reyes, Director Académico de UNIVA Lagos, quien apoyó para la escritura del artículo.

REFERENCIAS

- [1] C. Bohórquez Quintero, y M.A. Ballesteros Bejarano. “Reutilización y transformación de llantas usadas como alternativa de mitigación del problema de contaminación ambiental en Bogotá” Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia, Enero, 2016. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2428&context=administracion_de_empresas
- [2] R. Sánchez Juan, “Segunda vida de los neumáticos usados,” en *Química Viva*, 2012, 11(1), p. 24-39. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86323612003>
- [3] (2020) Fortune Business Insight. Rubber Market Size Share COVID 19 Impact Analysis By Type Natural and Synthetic By Application (Tire, Non-Tire, Automotive, Footwear, Industrial Goods and Others) and Regional Forecast 2020-2027. Disponible en: [URL:https://www.fortunebusinessinsights.com/amp/industry-reports/rubber-market-101612](https://www.fortunebusinessinsights.com/amp/industry-reports/rubber-market-101612)
- [4] G. J. Peláez Arroyave, S. M. Velásquez Restrepo, D. H. Giraldo Vásquez. “Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura,” en *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2017, 27(2), p. 27-50. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rcin.2143>
- [5] G. A. Torres Avalos, “Desvulcanización del Caucho”, Patente MX20190015669, dic. 19, 2019. Disponible en: <https://vidoc.impi.gob.mx/visor?usr=SIGA&txp=SI&tdoc=E&id=MX/a/2019/015669>
- [6] K. Kinoshita. "Vulcanization accelerator for chloroprene rubber." U.S. Patent No. 4,395,349. 26 Jul. 1983.
- [7] S. Asadauskas [US]; A. Jukna [LT], “Devulcanizing agent for production of reclaim rubber powder”, (EP2909240B1 · 2016-09-14), 2016.
- [8] Li Q., Li F., Meng A., Tan Z., Zhang Y. “Thermolysis of scrap tire and rubber in sub/super-critical water,” in *Waste Management*, 2018, 71 , p. 311-319.
- [9] B. Cássia Maria, M. T. De Nóbrega, y H. Silveira. "Análisis granulométrico de un sistema pedológico en el municipio de tamboara-pr, Brasil: comparación de dos técnicas para la determinación," en *Revista Geográfica de América Central*, 2011, 2, p. 1-19. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744820597>
- [10] S. N. Mthembu, A. Sharma, F. Albericio, y B. G. Torre. “Breaking a Couple: Disulfide Reducing Agent,” En *ChemBioChem*, 2020, 21(14), p. 1947–1954). Wiley. <https://doi.org/10.1002/cbic.202000092>

Micro-Syringe Pump Prototype Driven by Stepper Motor for Microfluidics

C. A. Dávalos Saucedo^{#1}, G. R. Márquez^{#2}, M. J. Briones Reyes^{#3}, M. Alonzo Macias^{*2}

[#]Tecnológico Nacional de México: Academia de Investigación, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México.

^{*}Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Epigmenio González 500, San Pablo, Querétaro 76130, México.

¹cristian.davalos@lagos.tecmm.edu.mx, ²giovanna.rossi@lagos.tecmm.edu.mx,

³manuel.briones@lagos.tecmm.edu.mx, ⁴alonzoma@tec.mx

Abstract—Portable and precise pumps are highly demanded for microfluidic applications. This project aimed to design and develop a micro-syringe pump, an advantage of this kind of device is that it can reach the minimum necessary control and precision to use it to drive fluids through a microfluidic device's microchannel, seeking the required specifications and considering that the design has a single axis motion. All the micropump characteristics were designed to reach the technical parameters to get in various preliminary tests a precise performance using a microfluidic device. In this case, it was driving a fluid mixture of pectin and protein necessary to obtain a film-forming solution, useful in many applications in different industries, such as food to produce edible coatings or biodegradable films. The main elements used to develop the micro-syringe pump were a stepper motor with a satisfactory resolution meeting the design requirements, a control module, and pieces as a structure of the micro-syringe pump. Then they were printed using a 3D printer with Polylactic Acid (PLA) biopolymer and designed and assembled, reaching good results on preliminary tests conducted using a mono-channel microfluidic device.

Keywords—Micro-syringe pump, Microfluidics, Prototype, Stepper Motor.

I. INTRODUCTION

Microfluidics devices can develop many tasks in different industries: food, drugs, cosmetics, chemical and biological. The fabrication of microfluidic devices involves materials such as polymers and glass, these devices are designed with micro or nano-geometric features achieving the manipulation of small volumes of fluids, but the primary approach is to control accurately small volumes of liquids. The precision of flow control is critical in many technologies where it is necessary to handle a low-quantity sample or for accurate process operations such as infusion or manipulation for droplet generation, particle manipulation, drug delivery, and micromixing. Specifically, in a microfluidic laboratory, we can find pressure pumps, peristaltic pumps, and syringe pumps to deliver fluid in microfluidics devices [1] [2]. Among traditional methods of fabrication of microfluidic devices are photolithography and microprinting (soft lithography), although they are not widely spread because of their high cost and fabrication time.

Moreover, new strategies exist to obtain high-precision microfluidic parts without intricate tooling and equipment, making producing microfluidic devices cheaper, faster, and more accessible than conventional fabrication methods. Enhancements made in additive manufacturing and other techniques allow to achieve low-cost and technical requirements to get microfluidic devices for regular use in many operations successfully; some materials are polymethyl methacrylate (PMMA), polycarbonate, polystyrene, and especially polydimethylsiloxane (PDMS) materials, we can find circuits made using a wide variety of materials that is the case of polylactide (PLA), acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polyamide (PA) as a filament for use in a 3D printer. Even this looks like a good alternative has many inconveniences, such as 3D printing filaments that do not meet requirements for physical, chemical, and mechanical parameters needed for microfluidic devices construction, the temperature must be relatively low (under 60-80 °C) to avoid structure losses also due to the low adhesion and lack of other necessary properties makes them unsuitable for the production of microchannels and microelectronics elements on the polymer films surfaces [2] [4]. On the other side, there are different materials successfully used in microfluidics device fabrication, for instance, polyethylene terephthalate (PET) in hot embossing/bonding PET technique [3] [5]. These alternatives for microfluidics rapid-fabrication guarantee the implementation of applications, for example, PET laminated technique; results demonstrate the pertinent use of PET laminates microfluidic devices to develop studies in fields such as biochemical, micro-organs providing understandings on relevant biology fields [4] [6]. In this work, a prototype of a micro-syringe pump was designed and developed to be used with circuits designed in laminated PET, obtaining good preliminary results, complying with the evaluated requirements of precision and necessary stability in terms of the delivery rate, volume, time and accuracy [7], a genuine water-based fluid used in this work to test: the pumping operation for instance with a standard mixed solution of pectin and protein used as a film forming solution to produce edible coatings or biodegradable coatings. Preliminary micro-syringe pump tests using a PET laminated microfluidic device.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Micro-syringe Pump Design

The prototype design comparison includes 3 different diagrams evaluated, selecting the optimal design by the technical characteristics of the chosen pieces, Fig. 1

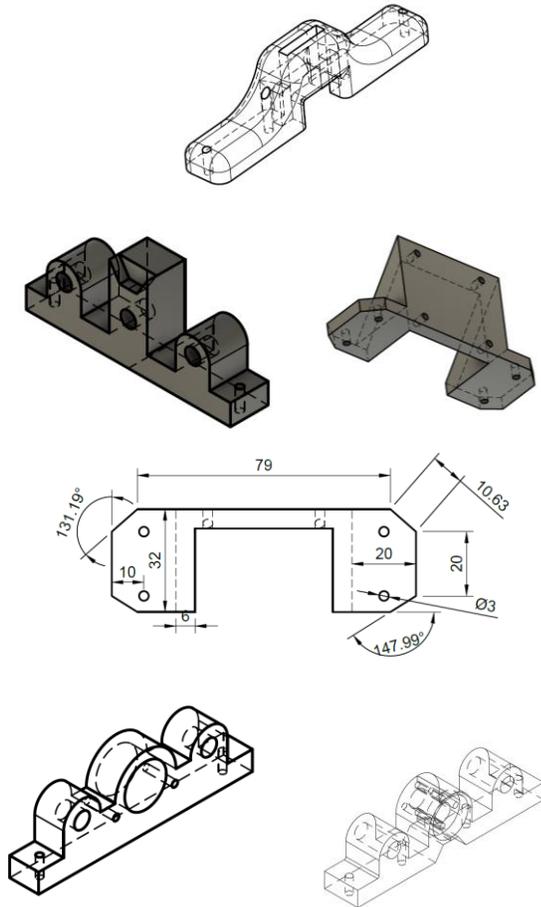


Fig. 1. Different tested and selected designs.

B. Assembling of Structure

The necessary structural pieces to assemble the prototype were defined as 2 linear motion rods 8mm x 300mm that will work as shafts for the mechanism conferring the necessary stability, and one A SUS304 stainless steel lead screw 8mm x 30mm, including the corresponding brass nut Fig. 2.



Fig. 2. Prototype structural pieces.

A stepper motor Shinano Kenshi STP-42D221-03 with an external inertial load 9800g-cm², positional accuracy 1.8° +/- 5% in full step mode, holding torque 0.314 N-m minimum, 12 voltage of direct current (VDC), detent torque 16mN-m maximum Fig.3, flexible Coupling 5mm to 8mm aluminum casing with hexagon wrench was used Fig.4.



Fig. 3. Stepper motor STP-42D221-03



Fig. 4. Aluminum flexible Coupling 5mm to 8mm.

C. Micro-syringe Pump 3D Printed Parts

All pieces and fixtures were designed using Autodesk Fusion 360 (academic licensed) software. Afterward, a Creality Mod 3 3D printer was used with regular PLA SUNLU PLA 1.75mm +/- 0.02mm as a printing material. Once the pieces were designed, Cura generated G code with optimal values for the 3D printer.

D. Micro-syringe Pump Control Module

A control module was structured using fritzing, where a Raspberry Pi3 (RP3) was used as a controller, three optocouplers (4N35) worked as motor driver enabler, motor rotation direction, and the third one worked as a bridge to connect the step signal from RP3 to the motor driver (A4988) Fig. 5.

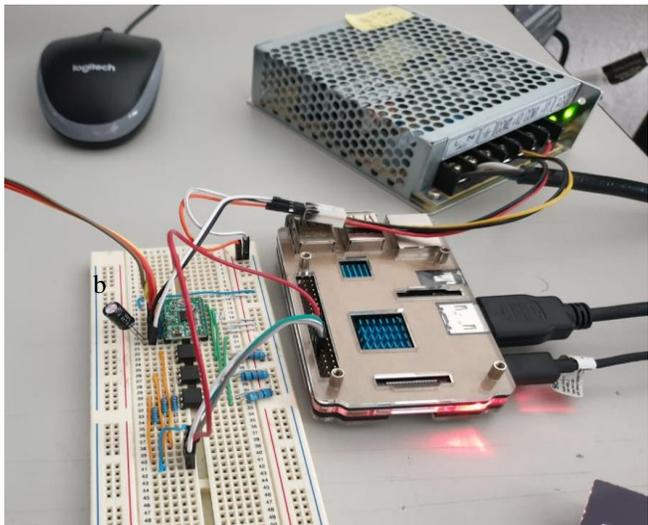
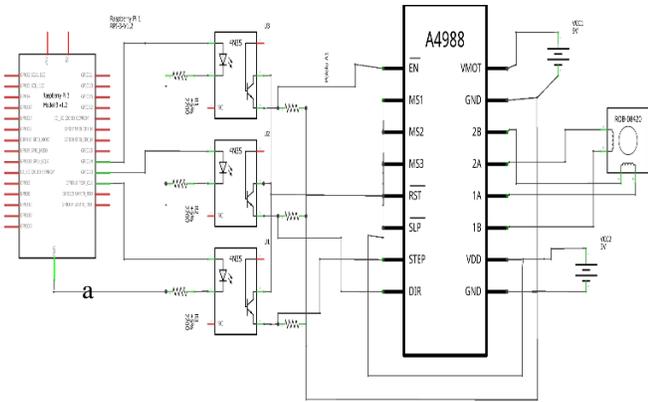


Fig. 5. a) Control module using fritzing. b) Control system assembled

Micro-syringe Pump Scripting and Coding

A Micropython script was developed to be executed in RP3 via a graphical user interface (GUI). The main functions included in the script are syringe selection (controlling up to 2 simultaneously), speed selection based on syringe diameter, movement frequency corresponding to the dispensed volume, and selector of motor rotation direction. The GUI is shown in Figure 6.

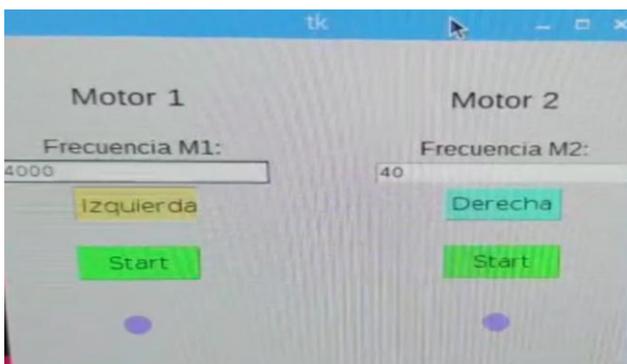


Fig. 6. GUI developed.

III. RESULTS & DISCUSION

The micro-syringe pump demonstrates in preliminary tests the following specifications: flow range $1\mu\text{L/h}$ to 5ml/min (5 mL syringe), dispensing accuracy of $\pm 1\%$ range. Working in these conditions is possible to handle fluids with acceptable precision that allows producing stable operations such as mixing, separation, or only dispensing of fluids. Using a micro-syringe pump represents significant economic savings and optimization in diverse industries. The prototype working properly dispensing a red-colored fluid is shown in Fig. 7.

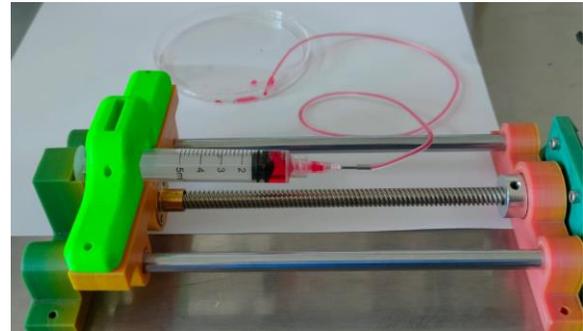


Fig. 7. Prototype working properly.

On the other hand, the GUI can be used by untrained technicians demonstrating that it is user-friendly.

Numerous studies have reported diverse methods and approaches to develop micropumps considering the transmission of mechanical oscillations resulting from their stepper motor into the flow-carrying microfluidic device perturbations. However, in our application, it is not so crucial as in other microfluidic processes, for example, in droplets or foam generation where those effects are noticeable under a rate below 1 ml/h and experiments revealed a linear decay of the relative pressure fluctuations reaching a plateau at higher flow rates above 5 ml/h [8]. The main interests considered in the design were achieving stability on the injected flow reaching flow rates around 5 ml/h due to the microfluidic device channel, and the application needs enough help to avoid fluctuations.

IV. CONCLUSIONS

The control of precise volumes in the industry is a desirable characteristic that allows the creation of stable solutions over time. The design and development of an affordable micro-syringe pump fulfill the design expectations. The mechanism can be adjusted to achieve more stability in the dispensing process, the control module, and the GUI. Moreover, using biodegradable filament to print the components helps reduce environmental pollution, making this process more sustainable.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful for the facilities granted by the Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez campus Lagos de Moreno to develop this project and to the Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías

(CONAHCYT) for the support and facilities in the development of this project. This research was supported by PRODEP according to grant 31525 assigned to ITJMMPHCA-11.

REFERENCES

- [1] X. Zhang, K. Xia and A. Ji, "A portable plug-and-play syringe pump using passive valves form microfluidic applications," *Sensors and Actuators B: Chemical*, no. 127331, pp. 304, 2020.
- [2] C. Byun, K. Abi - Samra, Y. Cho and S. Takayama, "Pumps for microfluidic cell culture", *Electrophoresis*, vol. 35(2-3), pp. 245-257, 2014.
- [3] F. Doronin, Y. Rudyak, G. Rytikov, A. Evdokimov and V. Nazarov, "3D-printed planar microfluidic device on oxyfluorinated PET-substrate. Polymer Testing," no. 107209, pp. 99, 2021.
- [4] J. Li, C. Liu, H. Qiao, L. Zhu, G. Chen and X. D. Dai, "Hot embossing/bonding of a poly (ethylene terephthalate)(PET) microfluidic chip", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 18(1), pp. 015008, 2007.
- [5] M. Levis, N. Kumar, E. Apakian, C. Moreno, U. Hernandez, A. Olivares, F. Ontiveros and J. Zartman, "Microfluidics on the fly: Inexpensive rapid fabrication of thermally laminated microfluidic devices for live imaging and multimodal perturbations of multicellular systems", *Biomicrofluidics*, vol. 13(2) pp. 024111, 2019.
- [6] T. Matsubara, J. S. Choi, D. H. Kim, and J. W. Kim, 2022. A Microfabricated Pistonless Syringe Pump Driven by Electro - Conjugate Fluid with Leakless On/Off Microvalves. *Small*, vol. 18(15), pp.2106221, 2022.
- [7] M. Haque, A. Matin, X. Wang and M. Kersaudy-Kerhoas, "Effects of syringe pump fluctuations on cell-free layer in hydrodynamic separation microfluidic devices", *Physics of Fluids*, vol. 33(7), n° 073317, pp. 1-5, 2021.
- [8] G. Gonzalez, I. Roppolo, C. Pirri and A. Chiappone, "Current and emerging trends in polymeric 3D printed microfluidic devices", *Additive Manufacturing*, vol. 55, pp. 102867, 2022.

Análisis longitudinal de los ciclos de zafra en el valle El Grullo - Autlán

J. Michel Horta^{#1}, M. L. Colmenares Zepeda^{#2}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento Académico de Ingeniería Industrial e Ingeniería Informática, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica El Grullo, Jalisco, México

¹ jonas.michel@elgrullo.tecmm.edu.mx, ² martha.colmenares@elgrullo.tecmm.edu.mx

Resumen — La presente investigación aporta información que describe de manera longitudinal factores del proceso de corte de caña, tales como; superficie y tonelada cosechada, ciclo de corte, variedad de caña, tipo de corte y cortes por ciclo. Los datos que se analizaron fueron obtenidos de las bases de datos de la Asociación de Agricultores del Valle El Grullo-Autlán (CNPR) para los ciclos 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019. Los resultados muestran que las variables analizadas no presentan cambios significativos a través de los periodos, esto dentro de un contexto en el que no hubo cambios en la metodología y tecnología empleados para el proceso de corte de caña. En conclusión, se mantiene lineal la producción y la cantidad de cortes empleados en los ciclos. Así mismo los resultados obtenidos en este estudio pueden servir de base para compararlos con ciclos siguientes que corren a partir del 2019 al 2022 en los cuales se comienza a pasar de corte por parcela a corte por lote.

Palabras clave— El Grullo-Autlán, industria azucarera, minifundio, corte de caña, producción de caña.

I. INTRODUCCIÓN

Una cadena de suministro puede presentar una serie de factores que tienen impacto en su desempeño, situación que se da particularmente en el proceso de corte de caña en la industria azucarera. Este tipo de agroindustria tiene el reto de atender los requerimientos del ingenio azucarero en coordinación con los productores de caña de azúcar. Tal es el caso que sucede dentro del valle El Grullo-Autlán en el que se localizan el Ingenio Azucarero Melchor Ocampo y la Asociación de Agricultores del Valle El Grullo-Autlán (CNPR), organizaciones que inciden directamente en la logística de corte de caña de azúcar.

El proceso de zafra en el valle El Grullo-Autlán se da generalmente entre los meses de noviembre a mayo, el cual puede variar de acuerdo con factores ambientales. En este lapso se comienza con el corte, alza y transportación de la caña de azúcar de los productores de caña al ingenio azucarero. El área de cultivo de caña en el valle es de aproximadamente 10,000 hectáreas, que se agrupan en dos asociaciones; Unión Local de Productores de Caña de Azúcar del Ingenio Melchor Ocampo y la Asociación de Agricultores del Valle El Grullo-Autlán, esta última con aproximadamente 4646 hectáreas de cultivo de caña, siendo esta la que se considera para el presente estudio.

El objetivo del estudio es describir y analizar las variables que influyen en el proceso de corte a través del tiempo para las zafras de los ciclos 2015 al 2019 para los productores pertenecientes a la CNRP del valle El Grullo - Autlán. Cabe aclarar, que al tiempo de elaborar esta investigación aún no se tiene la autorización por parte de la asociación para utilizar y publicar los datos concernientes a los ciclos de zafra del 2019 – 2022. Dentro de las variables más relevantes de este proceso están: parcela, lote, superficie cosechada, tonelada cosechada, fechas de corte, ciclo y variedad de caña.

Parcela y lote están estrechamente vinculados, ya que estas son las unidades de producción de cada productor y las cuales se encuentran dentro de un lote, que aglomera varias parcelas que se encuentran ubicadas en una misma área. A su vez la superficie y tonelada cosechada se relacionan en el sentido de que la superficie hace referencia a la cantidad de hectáreas que en realidad son cosechadas y la tonelada cosechada a la producción de caña en cada parcela y a partir de estos se puede sacar la productividad por hectárea. La fecha de corte hace referencia al día en el que se llevó a cabo el corte a cada parcela. El ciclo describe las veces que la planta de caña ha sido cortada en su ciclo productivo y finalmente la variedad de caña es el tipo de caña sembrada en cada lote.

La problemática mayor de la agroindustria azucarera estriba en la recuperación del potencial productivo del predio, debido a causas multifactoriales como resocas, plagas y enfermedades, sequías y tamaño minifundista de la unidad productiva [1]. México tiene un gran porcentaje en cuanto a minifundios se refiere, la pequeña producción agropecuaria es importante en todas las subregiones de América Latina y en casi todos los países. En cuanto a superficie México es donde tiene mayor relevancia, como efecto de la importancia del ejido y en general del sector social [2].

En cuanto al tamaño de las unidades de producción cabe señalar que la mayoría de estas son tipo minifundio (máximo 5 hectáreas) y estos productores están en un proceso de transición; ya que la CNPR tiene como objetivo pasar de corte por parcelas a corte por lotes, lo cual dio comienzo en el ciclo 2019-2020. Este consiste en lograr que la fecha de corte sea la misma o en días continuos para las parcelas de un mismo lote; lo que en teoría podría significar mejorar la logística y eficientar recursos, tales como: tiempo de traslado de personal y maquinaria, combustible, tiempo en la quema, corte y alza de la caña de azúcar. Este cambio de tipo de corte es impulsado por la CNPR y no por el ingenio ya que para este

no es un factor para considerar, sin embargo, no se opone al cambio.

II. JUSTIFICACIÓN

Respecto a la productividad de las áreas de cultivo la mayoría de los estudios establecen que entre más pequeños más productivos; sin embargo, en cuanto a los costos de logística esto no es así ya que estos se elevan [3].

En este caso el ingenio azucarero es el que decide con base a la madurez óptima de la caña cuando debe de ser la fecha de corte para cada parcela; por lo tanto, el lograr que las pertenecientes a un mismo lote tengan el mismo periodo tiene la finalidad de optimizar los recursos que la asociación requiere para este proceso y con ello la búsqueda de la reducción de costos y tiempo reflejándose directamente en la rentabilidad del cultivo de los productores.

De tal manera en un proceso de unificación de fechas de corte, el observar sus variables y componentes a través del tiempo, permite analizar dentro los ciclos considerados el aumento o reducción de periodos de corte, órdenes de corte, parcelas, corte manual o por máquina y variedad de caña. Por consiguiente, esta investigación de tipo descriptiva ayuda a comprender el fenómeno de un corte por parcelas y establecer las bases para la realización de estudios posteriores en los que se puedan plantear correlaciones al pasar de un sistema de corte por parcelas a un sistema de corte por lotes.

Actualmente la asociación de agricultores ha iniciado con las actividades de transición para poder reducir los costos y tiempos en lo respecta al proceso de corte de caña; es decir, lograr pasar de corte por parcelas a corte por lotes, lo cual va a implicar analizar las variables pertinentes a este proceso; por lo tanto, esta investigación permite contribuir al estado del arte concerniente a la relación de productividad de productores minifundios y productores latifundios.

III. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo descriptiva longitudinal y con enfoque cuantitativo, en la que el estudio fue hecho con una base de datos proporcionada por la CNPR que consta de los ciclos de las zafras 2015 – 2016 hasta la 2020 -2021, cada ciclo en un archivo de Excel por separado, conteniendo cada uno los siguientes datos: código de zona, orden de corte, número de productor, fecha de corte, rendimiento estimado, superficie estimada, tonelada estimada, rendimiento cosechado, superficie real, tonelada cosechada, tonelada cosechada neta, tonelada líquida, código de parcela, código de lote, nombre de lote, ciclo (número de cortes), asociación de agricultores y variedad de caña.

A partir de este punto se exporta a SPSS (*Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales*) cada archivo de los ciclos de zafra limpiando y tratando la información para proceder a aplicar las técnicas estadísticas y obtener las frecuencias y medidas de tendencia central para los siguientes valores a través de ciclos 2015 a 2019, como lo son: superficie cosechada, tonelada industrializada cosechada, tonelada neta cosechada, ciclos de corte, variedad de caña, corte por

máquina y manual, total de parcelas, el total de fechas de corte y ciclos de corte.

IV. RESULTADOS

En primera instancia la *Tabla I* muestra la cantidad de superficie cosechada y en la *Tabla II* las toneladas cosechadas; tanto industrializada (producción de caña bruta) como la neta (libre de impurezas, la que considera el ingenio azucarero para el pago a los productores) en estas se puede observar que el ciclo 2015 – 2016 fue el de mayor superficie cosechada, sin embargo, en cuanto a la producción de toneladas industrializadas y netas, es el ciclo 2018-2019 el de mayor productividad. A partir de estos datos se puede obtener la productividad por hectárea, resultando; 99.54 tn/ha (2015-2016), 96.83 tn/ha (2016-2017), 97.63 tn/ha (2017-2018) y 105.64 tn/ha (2018-2019).

TABLA I
SUPERFICIE COSECHADA

	Superficie cosechada por ciclo			
	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Superficie cosechada	4568.00	4380.95	4400.40	4420.00

TABLA II
TONELADA COSECHADA POR CICLOS

	Tonelada cosechada por ciclos			
	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Industrializada cosechada	454699	424243	429648	466930
Neta cosechada	436313	407175	412465	447625

En la *Figura 1* y en la *Tabla III* se muestran los ciclos de corte o dicho de otra manera la cantidad de cortes que lleva la planta (*socas*) al momento de cada ciclo de zafra. La caña de azúcar es una planta perenne y que su vida económica permite varios cortes.

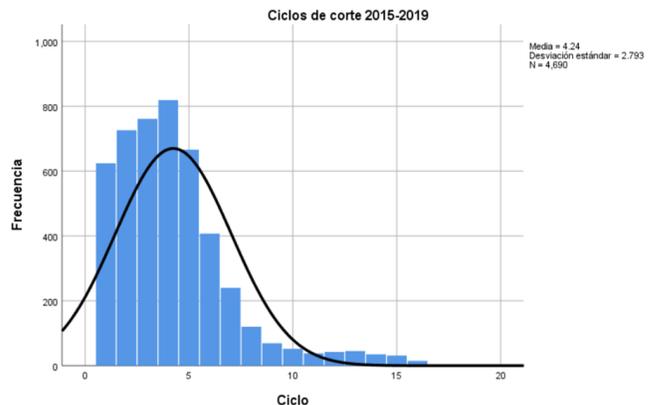


Fig. 1. Gráfica de ciclos de corte entre los ciclos 2015 al 2019.

Se puede observar que el ciclo de corte que más se repite en cada parcela es el número cuatro, así mismo la media y la mediana se ubican alrededor del mismo número, lo que significa que la mayoría de las plantas a través de estos cuatro ciclos se encuentran en una etapa madura de su ciclo productivo.

TABLA III
NÚMERO DE CORTES POR CICLO

Número de cortes por ciclo					
		2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
N	Válido	1205	1142	1169	1174
	Perdidos	0	0	0	0
Media		3.87	4.31	4.41	4.38
Error estándar de la media		.075	.078	.084	.088
Mediana		3.00	4.00	4.00	4.00
Moda		4	3	4	2
Desv. Desviación		2.610	2.633	2.883	2.998
Varianza		6.810	6.934	8.309	8.989
Rango		12	13	14	15
Mínimo		1	1	1	1
Máximo		13	14	15	16
Suma		4667	4920	5156	5147

En lo concerniente al tipo de planta más utilizada se pueden encontrar a tres principalmente; CP 72-2086, Mex 69-290, ITV92-1424, siendo la primera la más usada en México y la segunda variedad más sembrada correspondientemente *Tabla IV*.

En lo referente al tipo de corte se puede observar que en los ciclos que se analizaron es este estudio aún predomina el *corte manual* a pesar de la tendencia de pasar a *corte en verde* por medio de la utilización de maquinaria, esto se presenta en la *Tabla V*. El implementar el corte en verde tiene varias ventajas en las que destaca; mayor recuperación de azúcar por unidad de área de terreno, mejor manejo de las operaciones de cosecha y una reducción en la cantidad de unidades de transporte [4].

En la *Figura 2* y *Tabla VI* se puede observar la cantidad de cortes totales (manual y máquina) efectuados en cada ciclo, esto representan los órdenes de corte y su consecuente ejecución de corte de caña que se ha llevado en cada parcela.

TABLA IV
VARIETADES DE CAÑA

Variedad de Caña	Ciclo de las zafras			
	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
ATEMEX 96-40	103	86	103	136
ATEMEX 99-01	.	.	.	3
ATEMEX 99-1	.	.	.	2
ATEMEX 99-26	.	.	.	1

COLMEX 05-25	.	.	.	2
COLMEX 94-8	17	5	17	22
COLMEX 95-27	6	6	6	4
CP 70-321	5	5	5	4
CP 72-2086	378	385	378	333
CP 74-2005	2	2	2	2
CP 85-1382	11	14	11	8
CP 88-1508	3	3	3	3
ITV 92-1424	252	239	252	237
MEX 69-290	248	314	248	204
MEX 79-431	70	39	70	102
MEZCLA-IMO	3	3	3	3
RD 75-11	66	35	66	106
VARIAS-IMO	5	6	5	2

TABLA V
TIPO DE CORTE

	Tipo de corte por ciclos			
	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Corte máquina	351	348	325	386
Corte manual	820	787	840	780

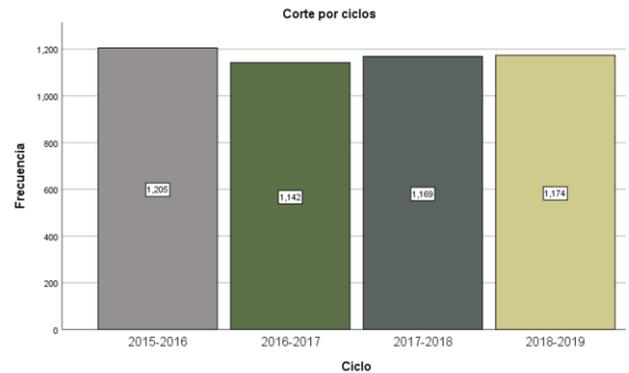


Fig. 2. Gráfica de cantidad de cortes realizados

TABLA VI
CORTES POR CICLO

Cortes por ciclo				
Ciclo	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
2015-2016	1205	25.7	25.7	25.7
2016-2017	1142	24.3	24.3	50.0
2017-2018	1169	24.9	24.9	75.0
2018-2019	1174	25.0	25.0	100.0
Total	4690	100.0	100.0	

Finalmente, en la *Tabla VII* se puede observar la cantidad de días de corte (fechas de corte) en cada ciclo de zafra, en donde se ve que en los ciclos 2017 – 2018 y 2018 – 2019 se utilizaron la misma cantidad de días para el corte correspondientes a 183, donde los cortes totales fueron 1169 y 1174 respectivamente; sin embargo, fue en el 2015 -2016 en el que se tiene 177 días de corte para un total de 1205 cortes. Lo que indica que se logró hacer más cortes en menos días para el ciclo 2015 -2016.

TABLA VII
CANTIDAD DE FECHAS POR CORTE

	Cantidad de fechas de corte por ciclo			
	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Cantidad de fechas de corte	177	167	183	183

Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIÓN

Con este análisis descriptivo longitudinal se pueden observar las variables en el proceso de corte en el valle El Grullo-Autlán específicamente para la asociación de agricultores de la CNRP, que al ser un proceso como el que ocurre en una gran parte de la república Mexicana, aporta información a esta área del conocimiento.

Se puede concluir que la productividad se mantuvo a través de los ciclos teniendo a la cantidad de parcelas, toneladas producidas y cortes realizados constantes en este tiempo, puntualizando que no hubo cambios en la metodología de corte, variedad de caña y en la disponibilidad de maquinaria y a pesar de factores ambientales como el ocurrido en el 2015 por el huracán Patricia. Los cortes por ciclo presentan que el ciclo productivo de la caña paso de maduro a joven ya que la moda pasó del 4 en el 2015-216 al 2 en el 2018-2019. Así mismo se encontró que la relación entre cortes totales realizados y fechas totales de cortes fueron constantes entre sí, y que estos dos factores pueden ser importantes a la hora de analizar y comparar tipo de corte por parcela a tipo de corte por lote.

Es importante subrayar que los ciclos analizados pertenecen a un corte por parcela en la que no se programan los cortes por lotes si no, por la madurez respecto a los grados

Brix que presenta la caña de azúcar. Sin embargo, a partir del ciclo 2018-2019 se comenzaron en la CNPR con los preparativos de buscar llegar a la misma madurez de la caña en todo un lote, esto a través de los tiempos de cultivo de nueva plantilla de caña y del tipo de variedad en ella. Si bien este trabajo no es concluyente para poder determinar si es más conveniente en cuanto a la logística hacer corte por lotes en lugar de corte por parcelas, si facilita plantear y concluir con estudios correlacionales y/o explicativos en los que a partir de esta de información y agregando los ciclos 2019 al 2022 se pueda observar y comparar las variables en ciclos con cortes por parcela y cortes por lote.

Y que esto conlleve a los productores poder validar las ventajas que supone el compactar este proceso, como en particular, si la eficiencia técnica de la producción agrícola es significativamente relacionada con el tamaño de la finca, si el rendimiento se ve afectado de manera importante por el grado de fragmentación medida por el número de parcelas, el tamaño medio de las parcelas y un índice de fragmentación, y si tal fragmentación impacta en las asignaciones laborales [5].

AGRADECIMIENTOS

A la CNPR por las facilidades dadas para la obtención de información que permitieron la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] N. Aguilar Rivera, “Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México”, *Nova Sci.*, vol. 6(12), pp. 125, 2014. doi: 10.21640/ns.v6i12.37.
- [2] M. Chiriboga. (1997) Desafíos de la pequeña agricultura familiar frente a la globalización. FAO. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/325642/>.
- [3] S. Desiere and D. Jolliffe, “Land productivity and plot size: Is measurement error driving the inverse relationship?”, *J. Dev. Econ.*, vol. 130, pp. 84-98, 2018. doi: 10.1016/j.jdeveco.2017.10.002.
- [4] H. Ortiz Laurel, S. Salgado García, M. Castelán Estrada, y S. Córdova Sánchez, “Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México”, *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, vol. 3(SPE4), pp. 767-773, 2012.
- [5] R. Jha, H. K. Nagarajan, and S. Prasanna, “Land Fragmentation and its Implications for Productivity: Evidence from Southern India”, ASARC Working Paper pp. 1-37.

Análisis Preliminar sobre la Abundancia y Diversidad de Fauna Edáfica Asociada al Cultivo del Agave Azul (*Agave Tequilana* Weber) con Dos Sistemas de Manejo Diferentes en el Municipio de Arandas, Jalisco

C. S. Magaña-Martínez^{#1}, L. I. Pérez-Valencia^{#2}, W. David Rodríguez^{*3}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Arandas, Jalisco, México

^{*}Departamento de Salud Pública, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México

¹cesar.magana@arandas.tecmm.edu.mx, ²laura.perez@arandas.tecmm.edu.mx

³william.rodriguez@academicos.udg.mx

Resumen— Se presentan los primeros resultados que surgen de la investigación de la calidad que tiene el suelo en dos sistemas de cultivo de *Agave tequilana*. La investigación se centra en analizar la abundancia de fauna edáfica y propiedades fisicoquímicas del suelo, con esto relacionar su estado con el tipo de manejo que tiene cada zona del cultivo. Entre los resultados más sobresalientes destaca el alto porcentaje de conductividad eléctrica que se obtuvo de la zona con manejo químico, además de la baja abundancia de fauna edáfica en esta misma zona al comparar con otro cultivo con un manejo más ecológico. Esta investigación se convierte en un punto inicial y de apoyo importante para posteriores estudios sobre monitoreo de la calidad del suelo utilizando a la micro y macrofauna edáfica.

Palabras clave—microartrópodos, suelo, sustentable, recurso, fertilizantes.

I. INTRODUCCIÓN

La fauna del suelo es un pilar fundamental en los diversos procesos de descomposición de la materia orgánica, lo que ayuda significativamente en acelerar y reciclar los nutrientes, con esto aumentar de manera particular el proceso de mineralización del fósforo y el nitrógeno [1].

Dentro de otras funciones principales que tienen los diferentes grupos que son parte de la fauna del suelo destaca su trabajo como: reguladores de los diversos procesos tróficos del suelo, ser un medio de soporte de su microestructura, aportando al medio abono natural, el cual es origen de deyecciones, excreciones, secreciones y al cumplir su ciclo vital con sus propios cadáveres [2].

Para la gran mayoría de los miembros de la mesofauna, el tener un tamaño corporal tan pequeño, los deja muy expuestos a las más mínimas perturbaciones de su medio, en su mayoría de causa antrópica, esto se hace notar fundamentalmente en cambios de su composición específica y su abundancia, lo que ocasiona la reducción en sus poblaciones y de su diversidad, con la consiguiente disminución de la estabilidad y la fertilidad del suelo [3]. Por

tales motivos, es considerada como un buen indicador biológico del estado de conservación del suelo además de ser parte decisiva para el mantenimiento de su productividad.

La demanda de agave en Arandas, al igual que en todas las regiones productoras, ha tenido un aumento significativo en los últimos años. Un dato valioso indica que el consumo de agave creció a la par de la producción de Tequila presentando un incremento del 43.5% en el periodo enero-noviembre 2021 vs enero-noviembre 2020 llegando a 1 millón 866 mil toneladas de agave consumido [4]. Con el aumento en la producción de tequila, la obtención de la materia prima es cada vez mayor, para suplir esa necesidad la industria productora de agave ha hecho uso intensivo de diversos compuestos como antibióticos, plaguicidas, hormonas de crecimiento, fertilizantes nitrogenados y fosforados, y una larga lista de sustancias químicas de muy diversa naturaleza. El uso de dichas sustancias puede ser con fines de acelerar el crecimiento o bien eliminar la maleza; sin embargo, un gran porcentaje de esas sustancias pasan al suelo.

Para el caso particular de los herbicidas se ha documentado que aun a pequeñas dosis pueden generar problemas en los organismos asociados al recurso del suelo [5]. La actividad agrícola en estos últimos tiempos, viene generando preocupación por las aplicaciones de productos químicos, sin opinión profesional, lo que genera graves alteraciones ambientales al ecosistema, especialmente en las zonas donde el agricultor no cuenta con asesoramiento técnico.

El estado de calidad del suelo se puede evaluar como una medida en su capacidad para funcionar de la mejor manera en relación con un uso específico [6]. El suelo se considera un recurso no renovable, pero además de producir, debe descomponer la materia orgánica y al hacer esto reciclar nutrientes, renovándose a sí mismo [7].

La abundancia y diversidad de la microfauna del suelo hace que sean muy valiosos para la estructura edáfica y se

han estudiado como indicadores de la calidad y salud del suelo [8;9]. Por lo que su uso potencial para evaluar el nivel de químicos en cultivos de agave en Arandas, puede resultar de gran utilidad. Conocer cómo se presentan los patrones de la biodiversidad de la fauna del suelo en hábitats bien conservados como en zonas transformadas por las causas antrópicas es el primer paso para entender la forma en que las actividades humanas pueden ser causa principal de la alteración de las funciones naturales del recurso. Por esta razón, en este trabajo realizamos un análisis de la diversidad y abundancia de la fauna de los suelos asociados a cultivos de *Agave tequilana* y relacionar los datos al tipo de manejo que se lleva a cabo en el cultivo.

II. MÉTODOS

A. Área de estudio.

Las colectas de suelo fueron llevadas a cabo en el Rancho La Teja (20°47'0.53"N, 102°18'21.16"O), de la Localidad de San José de la Teja, se encuentra a unos 10 km al norte del centro de la ciudad de Arandas, tomando la carretera 323 (Arandas-Jalpa). El tipo de suelo es *Phaeozem* con características agrícolas dependientes del comportamiento de las lluvias. El clima que predomina en la localidad es templado subhúmedo, con una vegetación principal de pastizal natural y cultivado y encontrándose unos parches pequeños de bosque de Encino y vegetación asociada natural [10].

B. Muestreo

El periodo de colecta abarcó un periodo de febrero-junio, 2022. Las muestras de suelo de los diferentes biotopos fueron tomadas de forma aleatoria en dos cultivos con un manejo diferente, uno con manejo tradicional (químico) y otro con un manejo utilizando fertilizantes de origen natural y un manejo de suelo sustentable (ecológico) (Fig. 1), además se realizaron colectas del mismo tipo en una zona con vegetación natural, esto para tener otro parámetro de comparación extra sumadas a las de cultivo. Los núcleos de suelo fueron de igual tamaño (95 cm²), se colocaron en bolsas herméticas para su transporte. Durante cada mes se tomaron 10 muestras por sitio, para dar un total 120 muestras de suelo. En laboratorio para extraer la fauna del suelo las muestras fueron procesadas el mismo día de la colecta en Sistema de embudos de Berlese-Tullgren durante un periodo de 7 días (3 días a temperatura ambiente y 4 días con una fuente de luz de 25 watts) y se utilizó alcohol al 70% como líquido conservador.



Fig. 1. A. Agave con manejo químico. B. Agave con manejo ecológico.

C. Análisis de suelo.

Los análisis que se llevaron a cabo para el suelo incluyeron parte física, química y biológica: 1) análisis de porcentaje de fragmentos gruesos y tierra fina; 2) Ph; 3) conductividad eléctrica; 4) contenido de humedad; 4) contenido de materia orgánica; 5) abundancia y diversidad de fauna edáfica (Fig. 2).



Fig. 2. A. Análisis de tamaño fragmentos. B. Muestras en mufla para calcinado de m.a. C. mezcla de suelo con agua destilada. D. sistema embudos de Berlese-Tullgren.

D. Análisis en laboratorio

Como punto inicial, las muestras de suelo deben de ser separadas en fragmentos gruesos (FG) y tierra fina (TF), esto porqué para realizar análisis físico-químicos, se deben realizar sobre tierra fina (≥ 2 mm), para este paso las muestras de suelo fueron colocadas en una tamizadora con diferente tamaño de tamiz (50,25,16,1mm). Para obtener la proporción FG, TF, cada parte resultante de cada nido de tamiz fue pesada con precisión en balanza analítica. Una vez que se obtiene muestra fina suficiente (500 g), se llevan a cabo las siguientes determinaciones analíticas del suelo.

El segundo paso fue determinar el pH y la conductividad eléctrica (CE), para esto se utilizó un analizador multiparámetro de laboratorio Consort (C3030), en primer lugar, se tomaron 100grs de suelo y se mezclaron durante 10 minutos con 100ml de agua destilada, terminado el tiempo la muestra se filtró y seguidamente introducir los electrodos para pH y CE se procedió a realizar las mediciones, según indicaciones del fabricante del instrumento, el tiempo requerido para la estabilización generalmente es de 1 min o menos, se procede a leer pH y CE una vez estabilizada la lectura.

La tercera etapa incluye análisis de humedad y materia orgánica del suelo (m.o). Para el primer caso el método se basa en eliminar la humedad contenida en la muestra mediante secado en estufa (105°+24 hrs), se colocan 10 g de suelo en una cápsula de porcelana en la balanza, y por diferencia de peso una vez terminado el tiempo en la estufa, se calcula el porcentaje de agua. La determinación de la m.o se realiza por el método de pérdida de peso por ignición

(LOI). El método se basa en la ignición de una porción del suelo seco y molido en un horno de mufla a 400°C. A esta temperatura se produce la pérdida de la materia orgánica del suelo en forma gaseosa, principalmente como CO² y vapor de agua.

III. RESULTADOS

A. Características fisicoquímicas

Los resultados correspondientes al porcentaje de FG y TF muestran que el mayor porcentaje de FG se obtuvo en el área natural y el menor en el área con manejo ecológico. Así mismo el porcentaje de TF fue mayor en el área con manejo ecológico, el menor porcentaje se obtuvo en la zona de área natural (Tabla I).

TABLA I
ANÁLISIS DE LOS FRAGMENTOS GRUESOS (FG) Y DE SU COMPARACIÓN CON LA TIERRA FINA (TF) PARA CADA PUNTO DE MUESTREO.

Tipo de manejo	%FG	%TF
Químico	68.07	31.92
Ecológico	55.86	44.06
Área natural	76.87	23.88

Los resultados obtenidos para las características fisicoquímicas se muestran en la Tabla 2. El primer dato a tomar fue el pH, en este punto en la zona de manejo ecológico se obtuvo el valor más alto en relación a las otras (6.62), por el contrario, la zona de manejo químico obtuvo el más bajo (6.04). En lo que se refiere a los niveles de conductividad eléctrica (C.E), el promedio más alto se obtuvo de la muestra de la zona con manejo químico (839.75 μS/cm), el más bajo fue en el área natural (377.75 μS/cm). El siguiente parámetro analizado referente al mejor porcentaje de contenido de humedad, se obtuvieron en el área natural (8.15), el dato más bajo se obtuvo de la zona con manejo químico (6.9). Por último, en el apartado fisicoquímico, el promedio más alto de materia orgánica se obtuvo en las muestras del área natural (21.75%), por consiguiente, el promedio más bajo fue el área con manejo químico (6.6%).

TABLA II
VALORES DE pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E), CONTENIDO DE HUMEDAD (% H), CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (% M.O) POR CADA ZONA DE COLECTA.

Tipo de manejo	pH	C.E μS/cm	% H	% M.O
Químico	6.04	839.75	6.9	6.6
Ecológico	6.62	467.33	6.37	16.8
Área natural	6.24	377.75	8.15	21.75

B. Análisis de fauna del suelo

Cabe aclarar que, hasta el momento, solo se ha llevado a cabo el conteo general de todos los organismos, pero en una segunda etapa del proyecto, se realizará la separación, agrupación y conteos por cada grupo de organismos diferentes que se identifiquen en las muestras, por ahora los datos presentados solo abarcan las abundancias totales. Del total de muestras analizadas hasta la fecha, se han obtenido

un total de 1764 organismos pertenecientes a la fauna del suelo (meso y macrofauna), la distribución de estos datos en los diferentes sistemas de manejo se muestran en la figura 1. Las muestras provenientes de la zona del área natural, son las que más cantidad de organismos de fauna del suelo se han obtenido (821), por el contrario, la zona con manejo químico es la que menor abundancia ha presentado hasta la fecha (199).

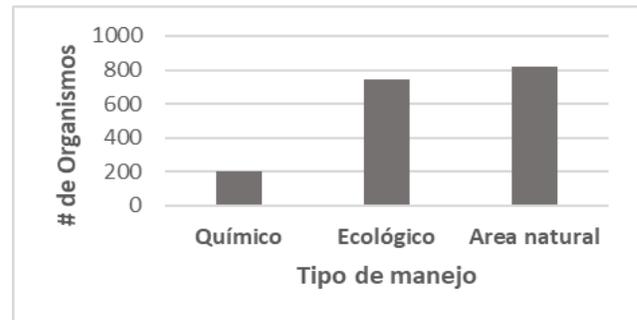


Fig 3. Abundancia de organismos del suelo obtenidos por cada sitio de colecta.

IV. DISCUSIÓN

Lo más sobresaliente encontrado hasta ahora en esta investigación esta enfocado hacia la parte química y biológica del suelo.

El primer dato a discutir es que en general, el pH en los tres sitios de toma de muestras se mantiene dentro del rango óptimo de los suelos agrícolas, este puede tener una variación ideal entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad [11]. Este parámetro del suelo es importante monitorear constantemente, ya que influye en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, de no tener un adecuado nivel se puede ocasionar una toxicidad o que los macro y micronutrientes no se encuentren en niveles adecuados para las plantas [12].

En el caso de la C.E, resalta la zona con manejo químico por encontrarse un porcentaje relativamente alto en este parámetro (839.75 μS/cm), esta es una medida indirecta de la concentración de sales, el suelo naturalmente tiene disueltas sales, por lo que la conductividad eléctrica puede ser muy baja pero nunca nula. Las sales son buenas para los organismos que las consumen disueltas en el agua, pero un exceso de sales puede ser perjudicial para la salud del suelo y los organismos que habitan en él. Las sales pueden, también, dificultar la penetración de agua en el suelo y aumentar la aparición de compactación superficial [13]. Aunque los niveles están por debajo de 1000 μS/cm, nivel que es considerado un suelo levemente salino, se destaca la zona con manejo químico, se acerca al umbral para ser considerado suelo levemente salino. Al contrario de los otros dos sitios, que mantienen sus promedios a más de la mitad por debajo de la zona con manejo químico, lo que se considera suelos no salinos [14].

En lo que refiere a la fauna edáfica, está claro que una de las funciones que resaltan es permitir procesos vitales para los ecosistemas, como el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes [15], por lo que, a mayor presencia de la misma, mejor será la calidad de suelo. Con esto se ve claramente que el suelo con manejo químico tiene bajas densidades poblacionales de meso y microfauna y al tener presente la importancia de la fauna, podemos dar un primer paso a predecir que la calidad de este suelo comparado con los otros dos (ecológico y área natural) es de menor calidad. En la medida que el uso de fertilizantes y otros químicos inorgánicos disminuya, se podrán preservar mejor la biota del suelo y con esto aumentar su estructura y fertilidad.

V. CONCLUSIONES

Estos son los primeros datos obtenidos de una investigación proyectada a durar al menos un año de muestreos, esto para abarcar las cuatro estaciones del año y tratar de obtener la mayor cantidad de datos y como se van comportando a lo largo de los diferentes ciclos estacionales. Por este motivo no se pueden aportar conclusiones mas exactas al momento, será hasta finalizar el estudio que se logre llegar a mejores conclusiones. Pero se destaca las grandes diferencias que se han obtenido en los análisis fisicoquímicos y biológicos, entre la zona con manejo químico y la de manejo con agentes orgánicos, la cual en este ultimo no vemos resultados tan diferentes de los resultados de la zona de área natural. Esto nos da una pauta inicial de que el tipo de manejo utilizando sustancias inorgánicas, puede generar alteraciones al suelo en la parte química pero más aun en la biológica. Solo queda esperar a llegar al completar el proyecto con el año de colectas y análisis y con esto aportar mejores resultados y conclusiones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Arandas, el apoyo otorgado con horas de investigación para la realización de este proyecto así como al apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT. A la empresa de fertilizantes orgánicos LIXIUS, por compartir datos del manejo ecológico que le dan al cultivo de agave. Se agradece de manera especial al señor Abel Camarena, por dejar realizar esta investigación en sus terrenos de cultivo.

REFERENCIAS

- [1] A. García-Álvarez y A. Bello. "Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica". *Memorias. I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost*. León, España. pp. 211. 2004.
- [2] A. Socarrás, "Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo", *Pastos y Forrajes*, Vol. 36(1), 2013.
- [3] S. Scheu, "The soil food web: structure and perspectives", *European Journal of Soil Biology*, vol 38(11), 2002.
- [4] (2022) Consejo Regulador del Tequila. [En línea] Disponible en: <http://www.crt.org.mx>. 2022.
- [5] A. M. Del Puerto- Rodríguez, S. Suárez Tamayo y D. E. Palacio Estrada, "Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud", *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 52(3), pp. 372-387, 2014.
- [6] E. G. Gregorich, M. R. Carter, D. A. Angers, C. M. Monreal, and B. H. Ellert, "Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils", *Canadian J. of Soil Science*, vol. 74(4), pp. 367-385, 1994.
- [7] G. Soto. "Calidad de los suelos: una nueva visión del suelo". *I Congreso Latinoamericano de Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica*. Managua, Nicaragua, 2009.
- [8] G. K. Frampton, "The potencial of Collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem", *Pedobiología*, vol. 41(1), pp. 179-184, 1997.
- [9] H. Kopeszki, "An active bioindication method for the diagnosis of soil properties using Collembola", *Pedobiología*, 41(1), pp. 159-166, 1997.
- [10] INEGI (2022). Mapas de vegetación y edafología. Escala 1:1,000,000. Arandas, Jalisco. México. [En línea]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx>.
- [11] R. Prasad and J. F. Power, *Soil fertility management for sustainable agriculture*, CRC Press, New York, 1997.
- [12] J. B. James Jr., *Agronomic handbook. Management of crops, soils, and their fertility*, CRC PRESS, Florida, USA, 2002.
- [13] D. L. Cortés, J. H. Pérez, J. H. Camacho-Tamayo, "Conductividad eléctrica suelo", *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 16(2), pp. 401-408, 2013.
- [14] M. V. Cremona y A. S. Enriquez, "Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: el pH y la conductividad eléctrica", *Presencia*, vol. 73, pp. 5-8, 2020.
- [15] D. L. Dindal, *Soil biology guide*. Wiley Interscience, New York, USA, 1990.

La calidad del PET Reciclado para Manufactura Aditiva y Economía Circular

A. Gutiérrez Limón ^{#1}, P. Tamayo Gómez ^{#2}, S. Barajas Aranda ^{#3}

[#]Tecnológico Nacional de México: Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapotlanejo, Jalisco, México

¹angelica.limon@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, ²pedro.tamayo@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, ³salvador.barajas@zapotlanejo.tecmm.edu.mx

Resumen—La alta contaminación generada por uso de botellas de PET principalmente en envases para la industria de bebidas gaseosas y agua mineral, aceites, entre otros que tardan en degradarse de 100 a 1000 años. Estos datos llevan a formular la pregunta ¿es posible dar otro uso a dicho material? Dado que la economía circular plantea imitar a la naturaleza en donde lo que es basura para un sistema se convierte en materia prima para otro sistema en este caso la basura que constituyen las botellas de PET se convierta en materia prima para los procesos de Manufactura Aditiva. Industria que usa como materia prima Polímeros, en este sentido se transformaría el tereftalato de polietileno (PET) de alta demanda en el mercado por sus características de; transparencia, resistencia al desgaste, a la corrosión, resistencia química y térmica y reciclable. Además de ser un material de fácil transformación que se deforma a altas temperaturas y al enfriarse toma la forma del diseño requerido sin presentar un cambio químico. Utilizar las botellas de PET reciclado como materia prima ya sea en tiras o convertir en pellet para imprimir en impresora 3D que funde el filamento entre 250° y 270° y fabricar los objetos que permita cada modelo de impresora 3D y sus dimensiones respectivas. Dado que el filamento cumple la calidad necesaria en diámetro +/- 0.05 y rendimiento de impresión.

Palabras clave—Economía circular, Impresora 3D, Reciclaje de PET.

I. INTRODUCCIÓN

La fabricación de filamento es el proceso previo a la impresión 3D y se ha realizado con procesos de transformación de plástico a escala media con maquinaria especializada y con extrusoras de filamento destinada a centros de reciclaje a baja escala como; FilaBot, FilaExtruder, entre otros. Estas empresas aplican un modelo de negocio basado en el concepto de economía circular al recuperar materiales para incorporarlos en el ciclo económico; consumo-reciclar-producción-consumo que pueden permanecer en el ciclo. De ser posible se elimina el desperdicio.

El filamento de PET reciclado en donde la baja variación del diámetro tiene un amplio efecto en las piezas impresas, debido a las irregularidades de flujo que se pueden producir en el cabezal de extrusión de la impresora. Con el fin de minimizar los efectos, industrialmente se ha establecido una tolerancia estándar en la medida de diámetro de ± 0.05 mm del valor nominal de 1.75 mm.

Dada la disponibilidad de PET reciclado y sus propiedades mecánicas y rendimiento en la impresión 3D estudios revelan que los “resultados son inferiores al PET virgen, esto atribuido a la degradación que se sufre en el procesamiento, sin hacer énfasis en su rendimiento de producción de filamento ni en el efecto de esta variable en la impresión” [1]. Los efectos tomando en cuenta dos aspectos del filamento; estabilidad dimensional y su rendimiento del filamento producido.

II. CONTAMINACIÓN POR BOTELLAS DE PET

Los plásticos de un solo uso representan el 50% de lo que se produce cada año y el 40% del plástico que se fabrica es para envases que se desechan tras un solo uso. Los cuales terminan en el ártico y en el fondo del mar, pues se estima que ocho millones de toneladas de plástico llegan a los océanos cada año dicho problema se ha visto agravado debido a la pandemia por COVID-19. De acuerdo a datos de la Procuraduría Federal del consumidor y se prevé que 2040 se triplicará el flujo de materiales plásticos en el océano por ello se hacen necesarios cambios de innovación y de comportamiento. Además, los compuestos químicos de estos contaminantes tienen un efecto similar al de algunas hormonas afectando la salud reproductiva y cambios en la respuesta inmune, entre otros efectos.

Consumers International propone: **RENOVAR**, usar recipientes rellenables. **REPENSAR**, comprar productos sin empaque. **RECHAZAR**, Di no a los envases desechables en su lugar lleva el tuyo. **REDUCIR**, reduce tu huella de plástico usando productos reutilizables. **REUTILIZAR**, reutiliza los artículos de plástico que ya tienes y extiende su vida útil. **RECICLAR**, exige un mejor acceso a la infraestructura y recolección de residuos. **REPARAR**, repara los articulo o dañados para limitar el desperdicio.



Fig. 1. Degradación de objetos cotidianos.

III. LA ECONOMIA CIRCULAR Y EL RECICLAJE DE PET

El plástico más reciclado es el PET por sus ventajas para almacenar alimentos tiene mínima interacción con el contenido y crear una barrera para el oxígeno y el agua, resistente, ligero y transparente.

Afortunadamente las tasas de reciclaje van en aumento por una mayor conciencia del público y eficiencia de las operaciones de reciclaje. “STADLER está a la vanguardia de este progreso, buscando constantemente formas de maximizar la eficiencia del proceso de reciclaje y la calidad de la producción” [3]. Con más de 10 plantas recicladora de botellas de PET.

En el proceso de economía circular las botellas de PET se recicla sin etiqueta, sin tapa y se separa por color para triturarse después se lava, se seca y se descontamina se funde a 270 °C y se granula. Posteriormente se mezcla con nuevo material y fundido pasando por máquinas de moldeo por inyección para producir nuevas botellas de PET. De esta manera continua el círculo de consumo, reciclado, producción y de nuevo consumo.

Ventaja del reciclaje de PET es reducir el uso de materias primas en 35%, ahorrando petróleo. Con un consumo de 88% menos de energía en la producción. Y eficiencia en el diseño de botella de PET de 1,5 litros, de 26,8 g, en comparación a 38gramos mostrando una reducción en materiales del 66% en los últimos 5 años.

La optimización del transporte al soplar las preformas en botellas en la planta de llenado, un camión puede transportar 700,000 preformas pero solo 15,000 botellas de PET terminadas.

IV. ESTABILIDAD DIMENSIONAL DEL PET RECICLADO

En el proceso de reciclaje se presenta una degradación como se muestra en la TABLA I. como la resistencia al impacto que va de 12 a 20 y la temperatura de fusión que por lo regular es una ventaja ya que implica ahorro de energía durante el procesamiento.

TABLA I
COMPARACIÓN DE MATERIAL PET VIRGEN Y MATERIAL RPET [4]

<i>Propiedad (unidad)</i>	<i>PET Virgen</i>	<i>PET Reciclado (RPET)</i>
Módulo - Young (MPa)	1890	1630
Resistencia - rotura (MPa)	47	24
Resistencia de impacto (Jm ⁻¹)	12	20
Viscosidad intrínseca (dl g ⁻¹)	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura - fusión (°C)	244 – 254	247 – 253
Masa molecular (g mol ⁻¹)	81,600	58,400

Si bien cambian algunas propiedades el filamento producido a partir de PET reciclado se puede utilizar sin ningún procesamiento en la fabricación de pequeños objetos en la impresora 3D. Se puede usar para fabricar adornos navideños como copos de nieve y pinos. Además, se puede utilizar para adornos que se pueden aplicar a la industria de la moda, por ejemplo imprimir mariposas u otro objeto personalizando las prendas con la versatilidad que ofrece la impresión 3D.



Fig. 2. Recolección de botellas de PET

Se recolectaron 300 botellas entre cristalinas y verdes de las cuales se recortó la parte lisa y se retiró la etiqueta para conseguir las medidas del diámetro del filamento y se elaboró un cortador con dos ranuras para obtener dos diferentes listones de las siguientes medidas como muestra la Fig. 3 de los dos tipos de materiales de botellas de PET reciclado, cristalino y verde.



Fig. 3. Corte de listones de 0.60mm y 0.70mm de PET

Posteriormente se pasaron los listones por un caudín para dar la figura redonda y la dimensión requerida como muestra la Fig. 4, se midió la dimensión del filamento para documentar la variación y realizar el diseño del experimento.



Fig. 4. Corte de listones de 1.75mm y 1.82mm de PET

Se tomaron medidas de los filamentos con el vernier. La escala del vernier usualmente es de 1:100, eso significa que los números escritos en ella son una centésima parte de un centímetro.

TABLA II
COMPARACIÓN DE MATERIAL PET VIRGEN [1] Y MATERIAL RPET

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razon F	Valor P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Espesor	.0761308	2	0.380654	17.19	0.0001
B: Material	0.000204167	1	0.000204167	0.01	0.9246
INTERACCIONES					
AB	0.000908333	2	0.000454167	0.02	0.9797
RESIDUOS	0.398575	18	0.0221431		
TOTAL CORREGIDO	1.161	23			

Los resultados como se muestran en la tabla ANOVA descomponen la variabilidad de observaciones en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III, la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor -P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre observaciones con un 95.0% de nivel de confianza.

Las temperaturas para elaborar el filamento a partir de PET reciclado van de 245 a 255 °C “de esta manera, se obtuvieron aproximadamente 200 g de filamento de cada material; el número de datos recopilados durante la extrusión de esta cantidad es una muestra representativa de 1 Kg según el teorema de valor medio.” [1, p. 8] El filamento debe almacenarse tapado a temperatura ambiente.

El tereftalato de polietileno o PET y el Polietileno son excelentes en las industrias de fabricación porque son fáciles de formar, duraderos y son resistentes a los productos químicos como lo podemos ver en la Tabla III. Además, se puede dar forman fácilmente a bajas temperaturas y esto es lo que las hace populares en la industria de impresión 3D.

El rendimiento en la impresión coincide con la cantidad estimada en el programa de impresión. Por ejemplo, si el programa de impresión estima que una figura de una moneda impresa con PET requiere 75cm de filamento de la descripción de su biblioteca de materiales y usamos PET reciclado coincide con el rendimiento programado.

V. CONCLUSIÓN

En las observaciones del material mostrado en la Figura 4 se pueden ver en un análisis cualitativo de la calidad que coinciden con los resultados de Lazo-Lobo y col. [1] ya que se observan pequeñas irregularidades en el filamento como pequeñas burbujas.

Además, de regularidad de diámetro medido como se ve en la Tabla II con una variación de 0.05 lo que coincide con

los polímeros que ofrece el mercado. Finalmente, cada kilogramo de filamento vendido representará la eliminación de 120 botellas de las calles.

TABLA III
TABLA DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE DE ALGUNOS POLÍMEROS [1]

Material	Densidad [g/cm³]	Módulo elástico [psi·10 ⁵ (MPa·10 ⁵)]	Resistencia a la tracción [psi·10 ³ (MPa)]	Resistencia al impacto (ft-lbf/in)
Polietileno de baja densidad)	0.917-0.932	0.25-0.41 (1.7-2.8)	1.2-4.6 (8.3-31.7)	No se rompe
Polietileno (alta densidad)	0.952-0.965	1.55-1.58 (10.6-10.9)	3.2-4.5 (22-31)	0.4-4.0
Politetrafluoroetileno	2.14-2.20	0.58-0.8 (4.0-5.5)	2.0-5.0 (14-34)	3
Polipropileno	0.90-0.91	1.6-2.3 (11-16)	4.5-6.0 (31-41)	0.4-1.2
Poliestireno	1.04-1.05	3.4-4.8 (23-33)	5.2-7.5 (36-52)	0.35-0.45
Tereftalato de polietileno (PET)	1.29-1.40	4.0-6.0 (28-41)	7.0-10.5 (48-72)	0.25-0.70

REFERENCIAS

- [1] J. R. Lazo Lobo “Mejoramiento de la procesabilidad del PET reciclado: evaluación de mezclas poliméricas para mitigar degradación y mejorar estabilidad en la extrusión de filamento de impresión 3D con PET posconsumo”. Tesis Doctoral. Universidad EAFIT. 2021.
- [2] C. F. Aliaga. (2018). Reciclación [En línea]. Disponible en: <https://www.reciclacion.cl/noticias/tiempo-de-degradacion-de-los-residuos-2/>.
- [3] M. Reciclado. (2020) Reciclaje de PET: hacia una economía circular. [En línea]. Disponible en: <https://magazinreciclado.com/2020/05/31/reciclaje-de-pet-hacia-una-economia-circular/>.
- [4] D. G. Sandoya Lara y C. M. Macías Coello, “Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3d. Tesis de Licenciatura. Quevedo: UTEQ. 2021.
- [5] Y. M. Prado Escobedo, “Análisis De Los Tiempos De Degradación De Productos Alternativos A Los Plásticos De Un Solo Uso En Medio Terrestre”. Tesis Doctoral. Ecuador-PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental. 2022.
- [6] PROFECO. (2021) Contaminación por plásticos. Gobierno de México. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es#:~:text=1%20Los%20pl%C3%A1sticos%20de%20un%20solo%20uso%20representan,desechan%20tras%20un%20solo%20uso%20Mas%20cosas...%20>.
- [7] E. Rodríguez Alonso, M. Herrero villar, M. Asensio Valentín y J. Guerrero, “Economía circular y fabricación aditiva: reciclaje y reintroducción de PET en dispositivos biomédicos”.
- [8] M. PET, (s.f.). Diferencias entre el PET y otros tipos de plástico. [En línea]. Disponible en: <https://maxipet.net/blog/diferencias-entre-el-pet-y-otros-tipos-de-plastico>.

Analysis of Thickness and Bonding of Multilaminated Films Using One-Dimensional Spectral OCT

M. J. Briones Reyes^{#1}, G. Rossi Márquez^{#2}, C.A. Dávalos Saucedo^{#3},

[#]Tecnológico Nacional de México: Academia de Investigación, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México

¹manuel.briones@lagos.tecmm.edu.mx, ²giovanna.rossi@lagos.tecmm.edu.mx,

³cristian.davalos@lagos.tecmm.edu.mx,

Abstract—In this work, an optical coherence tomography system is presented. The system was designed to measure the thickness (within 10 μ m resolution) and give an insight of additional mechanical behavior (bonding) of multi-laminated films. The results demonstrate the feasibility of this kind of system to help provide additional information with contactless and non-invasive techniques, which are significant advantages compared with traditional mechanical systems.

Keywords—optical, analysis, properties, multi-laminated, films.

I. INTRODUCTION

Multi-layered synthetic films are typically used in packaging engineering to protect the subject from environmental effects. In food packaging, each layer has a unique purpose, such as protecting the sample from oxidation or providing evaporation porousness inside out. In gas-liquid barrier films, producing the right thickness of each coating is vital. If the layer is too thin, the conditions might not be accomplished; in contrast, if the coating is too thick, there will be material waste. The typical physic characteristics that must be examined comprise the thickness and homogeneity of individual and multi-laminated films and contaminations. Traditionally, a vernier caliper or micrometer is used to measure the thickness of the layer. Nevertheless, these instruments yield a variety of errors, such as lower resolution than optical techniques, parallax error, and application of pressure over non-rigid films, among others. The method to achieve this task has to be non-invasive and non-destructive, high-speed, and must show the internal structure of materials.

Low-coherence and coherent-light optical techniques can measure samples' physical, optical, and mechanical properties. Optical coherence tomography (OCT) has been used in a wide variety of fields in medical science besides ophthalmology [1]; for instance, gastroenterology [2], and cardiology [3], among other areas. However, the versatility of OCT allowed it to be applied in engineering areas such as materials science [4] [5], where its measurement range and resolution (ranging from millimeters to micrometers) made it ideal for evaluating the optical and physical characteristics of films or composite materials. OCT uses broadband illumination in the near and mid-range infrared spectrum of light. As in other visible light interferometers, the light from the illumination source is divided by a beam splitter that directs part of the beam towards a reference arm and an object

arm containing a mirror and the sample to be analyzed, respectively. Subsequently, the light backscattered by the sample is recombined with the beam reflected by the reference mirror, thus causing interference patterns between the different wavelengths. Finally, the beam is directed towards a spectrometer that varies depending on the type of OCT used.

In temporal OCT, interference patterns are produced by the axial movement of the reference mirror to equalize the optical path difference of the light backscattered by the different layers of the sample. These interference patterns can be observed when the mirror and sample are at equal distance from the beam splitter, with a tolerance equal to the coherence length of the illumination source. Conversely, in spectral OCT, the reference mirror remains static, and the separation of the interference patterns can be resolved with the help of a diffraction grating that angularly separates these patterns before the sensor captures them. The advantages of spectral OCT include high-speed scanning, high sensitivity, and the capability to display two- or three-dimensional reconstructions in real-time. In addition, it has been shown that it is possible to measure the in-plane and out-of-plane strains of samples [6] [7]. This effect allows analyzing not only the physical and optical properties but also the mechanical properties of materials, which is of great interest in materials science.

OCT can give the thickness of coatings [8] [9], or the size and distribution of rivets or filaments. Also, surfaces or impurities can be identified and provide quick signs of the sample's condition, giving researchers valuable evidence.

Moreover, it is feasible to benefit from birefringence for measuring stress and strain using polarization-sensitive OCT [10], to determine the velocity of fluids with Doppler OCT [11], among other properties of materials.

II. METHOD

A. Optical Setup

Figure 1 shows the optical setup, where an 840nm with 40nm bandwidth superluminescent diode (SLD) was used as a light source and an FC/APC optical fiber for beam guidance.

The beam is collimated by a fiber collimator (C), which goes through a 50/50 non-polarizing beam splitter (BC), dividing the beam into the reference and sample beam. Subsequently, the reference beam is focused on the mirror (M)

using a spherical lens (L1 f=100mm). Meanwhile, the sample beam is focused on the sample by another spherical lens (L2 f=100mm). Finally, the interference spectrum is focused on the CCD sensor by L3 (f=250mm) and angularly resolved by a 650 lines/mm diffraction grating (DG).

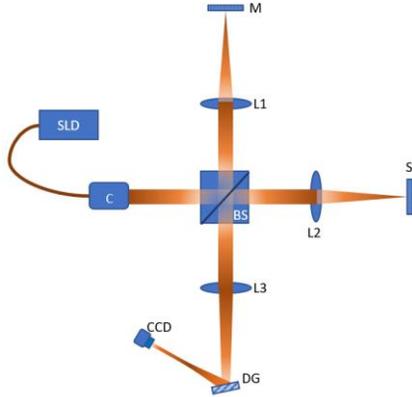


Fig. 1. One-dimensional OCT optical setup.

Since OCT uses a low-coherence light source, it has a coherence length l_c that indicates the distance within each wavelength can interfere with itself [12]:

$$l_c = \frac{1.386}{\pi} \frac{\lambda_c^2}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

l_c represents the coherence length and is obtained by assuming that the source illumination beam spectrum is Gaussian. λ_c is the central wavelength of the illumination source, and $\Delta\lambda$ is its bandwidth.

B. Processing

If the Fourier transform of the bandwidth is obtained, its point spread function (PSF) could be observed. Gaussian profiles of the light source are desirable due to the advantage of their autocorrelation, not presenting side lobes that produce echoes of the structure [13]. However, most manufacturers broaden the bandwidth of superluminescent diodes (SLD) by embedding two semiconductors with near spectra, causing lobes to appear in the PSF.

The result of the convolution of the PSF and the sample profile is the combination of interference patterns of the object and reference beams that can be represented as [14]:

$$I(\lambda) = I_R + \sum_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} I_S(\lambda) + \sum_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} 2\sqrt{I_R I_S(\lambda)} \cos(\delta(\lambda)) + \sum_{n=\lambda_{min}+1}^{\lambda_{max}} \sum_{m=\lambda_{min}}^{n-1} 2\sqrt{I_S(\lambda_n) I_S(\lambda_m)} \cos(\delta(\lambda_{mn})) \quad (2)$$

Where λ is the wavelength, δ is the phase difference between the wave from the reference and sample beams, R and S subindex means reference and sample. The first and second terms (reference intensity and sum of the intensities dependent on wavelengths) correspond to the DC term (background noise); the third term denotes the intensity modulated by the interference of the reference beam and the light source's spectrum. While the last one is the modulated

intensity resulting from the interference of each wavelength with the others. Applying a frequency transformation and filtering the DC and autocorrelation components, information on the internal structure of the object is obtained:

$$I(\lambda) = \sum_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} 2\sqrt{I_R * I_S(\lambda)} \cos(\delta(\lambda)) \quad (3)$$

The sample is positioned vertically and fixed over a 1-inch optical round mount on the sample's focused beam plane.

III. RESULTS

Several tests were made using different films: pectin, protein, and protein-protein. All films were made under the same temperature and humidity conditions, so the only difference between each is the thickness and properties derived from the solutions. Table summarizes the data in Figures 2 to 5, where a pixel to μm conversion was made according to the depth resolution of the system (1 pixel \approx 3 μm). Since the 2D image captured by CCD represents 1D information, a mean of 10 rows of the fast Fourier transformation result was made.

TABLE I
SUMMARY OF VOLUMES AND THICKNESS OF PECTIN AND PROTEIN FILMS.

Solution	Volume	Thickness (μm)	σ (μm)
Pectin	20ml	92.3	1.9
	25ml	99.1	2.2
Protein	30ml	758.8	33.6
	35ml	690.4	77.2

Also, a thickness comparison between random regions of each film was made. The results showed ≈ 2 μm normal deviation for pectin films and ≈ 30 -80 μm for protein films.

A. Pectin

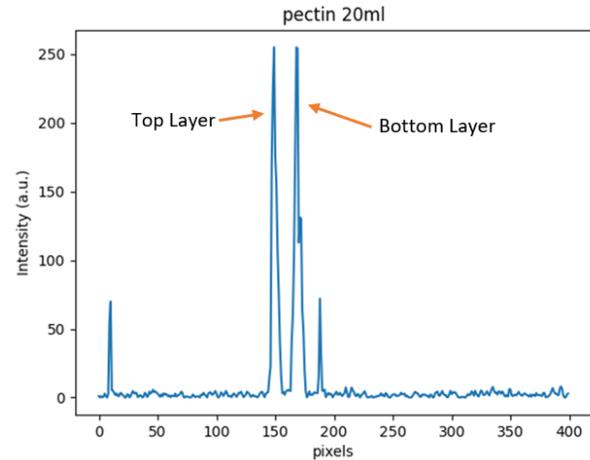


Fig. 2. A-Scan of 20ml pectin film. Peaks indicate the presence of interfaces.

This section shows Pectin films of two thicknesses; both were formed on petry dishes, using 20ml and 25ml of solution.

Figure 2 shows an A-scan (Amplitude scan) of a 20 ml pectin film. The plot shows two peaks of maximum magnitude, which match the interfaces of the film (air-film, film-air). The distance between each peak is proportional to the thickness of the film, as mentioned in Table .

Fig. 3 shows the depth scan of a 25ml pectin film, where a slightly thicker ($\approx +7 \mu\text{m}$) film can be observed compared to the 20ml pectin. It is worth mentioning that all plots' magnitude does not represent the quantitative amount of light captured by the sensor. Still, the maximum sensed for a particular A-Scan, since its y-axis is the sample's reflectance and it, directly depends on the angle between the sample and the propagation axis of light.

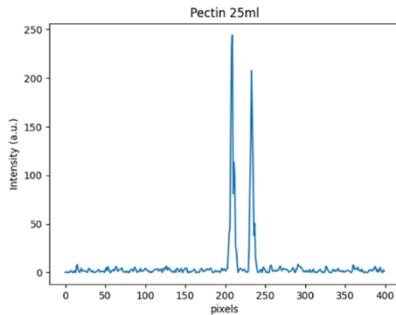


Fig. 3. 25 ml pectin film A-Scan.

B. Proteins

The same procedure of pectin films was performed for protein films. The results indicated that protein film thickness is greater than pectin films for comparable solutions poured in Petri dishes.

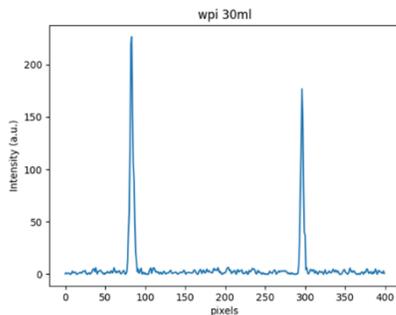


Fig. 4. A-Scan of 30ml protein film.

In Fig. 4 and Fig. 5, A-Scans of proteic films can be seen. The relative reflectance of each layer (air-film and film-air) indicates the orthogonality of the samples' surface and propagation axis of light, demonstrating a slight non-parallelism among each layer besides the absorption in the irradiation spectrum.

Additionally, a thickness comparison of 30ml and 35ml protein films plots suggests an incongruence since fewer solutions lead to thicker films; nevertheless, Table reveals that the standard deviation of 35ml protein film is greater than

30ml protein film, indicating that 35ml protein film lacks in thickness uniformity than 30ml protein film.

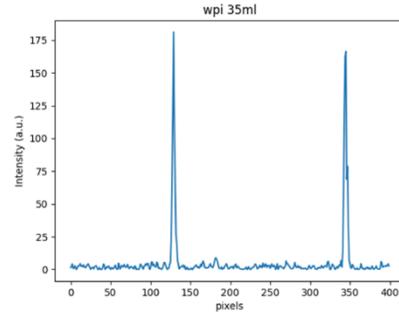


Fig. 5. A-Scan of 35ml protein film.

C. Protein-Protein

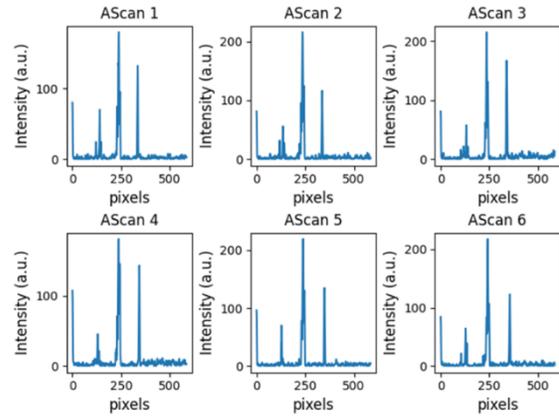


Fig. 6 Series of A-Scans at different points over a multi-laminated protein-protein film.

All previous tests were realized to be demonstrated as a proof of concept. The main goal of this project is to analyze the level of adhesion among other physical properties of multi-layered films.

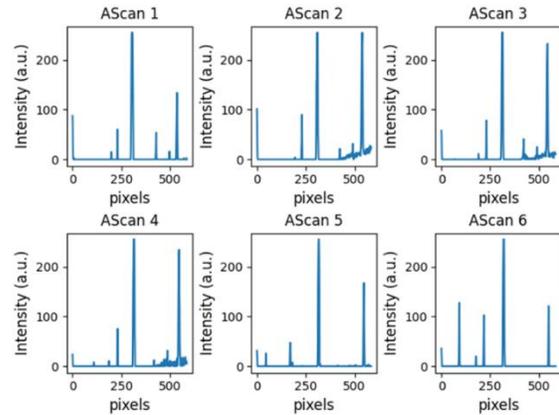


Fig. 7. A-Scans near edges of multi-laminated protein-protein films.

All plots in this section show a series of A-Scans recorded at random sections of one film for each figure. The initial tests

were made using two protein films as those are thicker than pectin films and their ease of manipulation. Fig. 6 exhibits a firm adhesion between films. This test used distilled water as a binding agent and laminated at 40°C. Whereas in Figure 7, the top and bottom films present unbonded regions (A-Scan 6) corresponding to the edges of the multilaminated film. Finally, Fig. 8 displays a series of A-Scan where an air bubble was trapped inside a multi-laminated film. It can be seen as a gap on each pair of peaks of the top and bottom films.

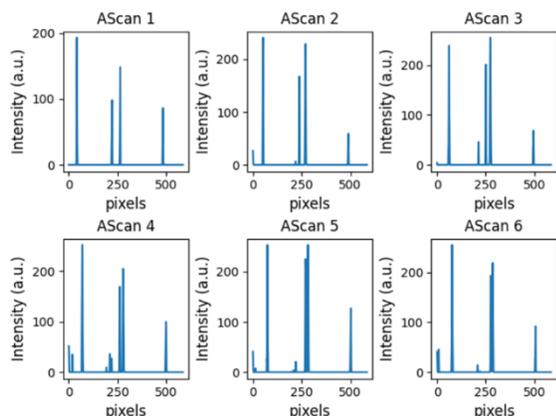


Fig. 8. A-Scans of a multi-laminated film with an air bubble trapped.

IV. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

This work demonstrates the use and advantages of OCT as a contactless and non-invasive technique to study multi-laminated films. OCT can retrieve the thickness of films and the bonding of multi-laminated films. Since this OCT system works on a single point over the sample, the processing can be executed in real-time (10 fps), and less power is needed to observe the sample's internal structure. Nevertheless, further studies must be done to maximize the information retrieved within a single shot. In addition, a modification of the OCT system is planned to simplify the visualization of defects and physical characteristics of multi-laminated films by allowing reconstruction slices (B-Scans) of the internal structure from A-Scans information. In Fig. 6 through Fig. 8, a displacement over the depth axis (pixels) is present, indicating the deformation of films. This deformation could be caused by the temperature and pressure exposed in the multilaminated process. Furthermore, the stiffness of multi-laminated films was increased, but not as substantially as desired. In the upcoming stages, the integration of PET films is planned.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful for the facilities granted by the Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez campus Lagos de Moreno to develop this project and to the Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) for the support and facilities in the

development of this project. This research was supported by PRODEP according to grant 31525 assigned to ITJMMPHCA-11.

REFERENCES

- [1] A. F. Fercher, "Measurement of intraocular distances by backscattering spectral interferometry," *Optical communications*, vol. 117(1-2), pp. 43-48, 1995.
- [2] G. J. Tearney, "In vivo endoscopic optical biopsy with optical coherence tomography," *Science*, vol. 276(5321), pp. 2037-2039, 1997.
- [3] J. Rogowska, N. A. Patel, J. G. Fujimoto and M. E. Brezinski, "OCT elastography technique for measuring deformation and strain of atherosclerotic tissues," *Heart*, vol. 90(5), pp. 556-562, 2004.
- [4] R. J. Young. *Introduction to polymers*. CRC Press, 2011.
- [5] J. P. Dunkers, R. S. Parnas, C. G. Zimba, R. C. Peterson, K. M. Flynn, J. G. Fujimoto and B. E. Bouma, "Optical coherence tomography of glass reinforced polymer composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 30(2), pp. 139-145, 1999.
- [6] M. H. De La-Torre Ibarra, P. D. Ruiz and J. M. Huntley, "Simultaneous measurement of in-plane and out-of plane displacement fields in scattering media using phase-contrast spectral OCT," *Optics Letters*, p. 34(6), pp. 806-808, 2009.
- [7] M. H. De La-Torre Ibarra, P. D. Ruiz and J. M. Huntley, "Doble-shot depth-resolved displacement field measurement using phase-contrast spectral optical coherence tomography," *Optics Express*, vol. 14(21), pp.9643-9656, 2006.
- [8] M. Gómez Guillén, M. Ihl, V. Bifani, A. Silva and P. Montero, "Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two murta ecotypes leaves", *Food Hydrocolloids*, vol. 21(7), pp. 1133-1143, 2007.
- [9] S. González, M. Reyes, G. Márquez, C. Saucedo and M. Martínez, "Caracterización no destructiva de formulación de empaques comestibles usando tomografía de coherencia óptica", *Miscelánea Científica en México*, León, pp. 91, 2020.
- [10] M. J. Briones, M. H. De La Torre, F. Mendoza, and J. Pedroza, "Birefringence and deformation measurements in porcine corneas using Fourier domain OCT.," *22nd ICO: Light for the Development*, Puebla, México, 2011.
- [11] R. A. Leitgeb, R. M. Werkmeister, C. Blatter, and L. Schmetterer, "Doppler OCT," *Progress in retinal and eye research*, vol. 41(1), pp. 26-43, 2014.
- [12] T. Fuji, M. Miyata, S. Kawato, T. Hattori and H. Nakatsuka, "Linear propagation of light investigated with a white-light Michelson interferometer," *J. Optical Society of America B*, vol. 14(5), pp. 1074-1078, 1997.
- [13] D. Huang, Eric A. Swanson, C. P. Lin, J. S. Schuman, W. G. Stinson, W. Chang, M. R. Hee et al., "Optical coherence tomography," *Science*, vol. 254(5035), pp- 1178-1181, 1991.
- [14] M. Takeda, H. Ina, and S. Kobayashi, "Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry," *Journal of Optical Society of America*, vol. 72(1), pp. 156-160, 1982.