

El FPGA como Core de un Sistema Híbrido

Dr. Oscar Leopoldo Pérez Castañeda¹, M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda²,
Jaime Leonardo Huerta Valencia³ y Ángel Joaquín Fabián Rosales⁴

Resumen—Algunos dispositivos electrónicos han surgido con el avance tecnológico para convertirse en el core (núcleo) de un sistema digital. En su momento el microprocesador fue utilizado como core, después la computadora, seguido de ello el microcontrolador. Todos ellos teniendo en común dos aspectos, una memoria flexible pero una arquitectura rígida. La primera, permite que programas diferentes puedan ejecutarse sobre dichas plataformas siendo esto una ventaja. La segunda, limitando el tipo de recursos en hardware a utilizar, siendo una limitante. Con la llegada de los FPGA (Field Programmable Gate Array) se dispone de otro dispositivo para funcionar como core. Su arquitectura flexible y reconfiguración de recursos hardware lo posicionan como un posible core en ciertos diseños. En este trabajo se diseñó, implementó y probó un sistema digital híbrido teniendo al FPGA como core, para corroborar que efectivamente puede funcionar como un core dentro de un sistema híbrido. De esta forma, otros dispositivos digitales pueden ser agregados al sistema sin necesidad de cambiar de core.

Palabras clave—Core, FPGA, MCU, MPU, SoC.

Introducción

El avance tecnológico nos está permitiendo disfrutar de un mejor confort y comunicación en estos últimos años, gracias al avance vertiginoso de los dispositivos electrónicos, en particular, aquel que es el core (núcleo) de un sistema digital. Este core puede ser un MPU (Microprocessor Unit) o un MCU (Microcontroller Unit) según se trate de la aplicación. Por ejemplo, en los electrodomésticos el core utilizado generalmente es un MCU. En los autos la parte que controla a los mismos es un MPU con varios MCU. De hecho, hay autos que utilizan varios microprocesadores y/o microcontroladores para su funcionamiento [Dziczek K, 2021], estos pueden ser de 8, 16 o 32 bits [Microchip 2021]. Se pueden encontrar hasta 70 MCUs en un solo auto [Jain S and Pathak P, 2022]. En el sector industrial el core utilizado para la mayoría de los procesos de producción es un PLC (Programmable Logic Controller) el cual está basado en un MPU robusto [c3control, 2020]. Todos estos dispositivos tienen en común que el core es un MCU o MPU. Un MPU y un MCU ambos son dispositivos que ofrecen una memoria reconfigurable, permitiendo que diferentes aplicaciones puedan ser ejecutadas. Una de sus limitaciones es que ofrecen por naturaleza una arquitectura fija o rígida además que su ejecución es secuencial.

Pero las nuevas aplicaciones demandan de un core que disponga de una arquitectura flexible. Esto con la finalidad de agregar al core los elementos necesarios en su momento sin necesidad de cambiar de dispositivo core.

Los MPUs fueron utilizados como core para el manejo de sistemas de control. Con el avance tecnológico llegaron los MCUs posicionándose como cores en dichos sistemas. Este desplazamiento se dio debido a que el MPU tiene un CPU (Central Processing Unit) y el resto de los elementos deben ser agregados. Por otro lado, un MCU además de un CPU dispone de otros elementos como un datapath de n bits fijo (generalmente $n = 8, 16$ o 32), un número determinado de entradas y salidas, un número determinado de módulos PWM (Pulse Width Modulation), módulos USART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), ADC (Analog to Digital Converter), etc. [Thornton S 2017]. Esta arquitectura diferente no indica que el MCU sea mejor que el MPU, más bien catalogó cada dispositivo de manera específica, siendo el MPU utilizado para tareas de cálculo o cómputo intenso mientras que el MCU para tareas de control. Después llegó el SoC, dispositivo electrónico que dispone de uno o varios MPUs, memoria y otros periféricos similares a los de un MCU pero con una mayor cantidad de dispositivos encapsulados todos ellos [Geeks 2022]. Así que, debido a su arquitectura los MCUs y SoCs son los dispositivos que más se han utilizado como core en un sistema de control o en un sistema híbrido.

¹ El Dr. Oscar Leopoldo Pérez Castañeda es profesor del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México, del área de Ingeniería Eléctrica-Electrónica, oscarleopoldo.pc@tehuacan.tecnm.mx, oscar.pc.itt@gmail.com (autor corresponsal).

² El M.C. Jesús Daniel Pérez Castañeda es profesor del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México, del área de Ingeniería Eléctrica-Electrónica, jesusdaniel.pc@tehuacan.tecnm.mx

³ Jaime Leonardo Huerta Valencia es alumno del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México, del área de ingeniería Eléctrica-Electrónica, L16360690@tehuacan.tecnm.mx.

⁴ Ángel Joaquín Fabián Rosales es alumno del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México, del área de ingeniería Eléctrica-Electrónica, L16360686@tehuacan.tecnm.mx

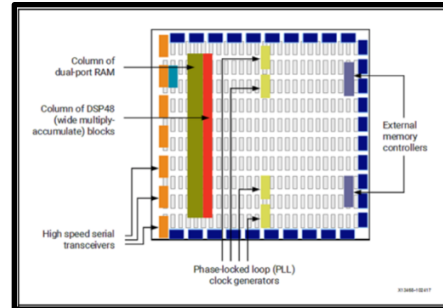


Figura 1. Estructura básica de un FPGA [Xilinx].

Con la llegada de los FPGAs se vislumbra un dispositivo nuevo para ser utilizado como core para los sistemas de control de dispositivos.

Descripción de los FPGAs

Un FPGA está formado por recursos en hardware que pueden ser seleccionados, configurados e interconectados por el diseñador. En un FPGA no hay nada interconectado, el diseño parte de cero. Estos dispositivos se componen de cierto número de módulos lógicos, que determinan la capacidad del dispositivo. Los módulos son independientes entre sí y pueden interconectarse para formar un módulo más complejo. Dependiendo del fabricante, estos módulos pueden ser Bloques Configurables, como en los FPGAs de Xilinx, o bien, elementos de función fija formados por arreglos de compuertas, como en el caso de los dispositivos de Actel.

Debido a que en este trabajo se utilizó un FPGA del fabricante de Xilinx, a continuación se abordarán algunos conceptos fundamentales de este dispositivo en base a Xilinx.

Los FPGAs de Xilinx son plataformas de cómputo heterogéneas que incluyen bloques RAMs, slices DSP (Digital Signal Processor), soporte para PCI Express (Peripheral Component Interconnect Express).

Los bloques de memoria RAM son fundamentales para el almacenamiento de información. Los slices DSP módulos que ejecutan las operaciones básicas de un DSP (Digital Signals Processor). Los módulos aritméticos que ofrece son los de un sumador, multiplicador y acumulador. El PCI Express ó Componente Periférico Interconexión Express es un bus que se utiliza para conectar componentes de hardware entre sí, permitiendo una intercomunicación entre los dispositivos conectados.

Todos estos dispositivos permiten implementar aplicaciones que requieran de paralelismo y pipeline a través de la plataforma entera así como de los recursos de cómputo simultáneamente, pero sobre todo pueden ser reconfigurables en hardware.

La estructura básica de un FPGA Xilinx está compuesta de los siguientes elementos [Xilinx]:

- LUT (Look-up Table) o tablas de búsqueda los cuales permiten realizar operaciones lógicas.
- FF (Flip-Flop), son registros que permiten almacenar el resultado de una LUT.
- Wires o alambres, elementos que permiten conectar unos elementos con otros.
- I/O (Input/Output) pads, son los puertos físicos que leen y escriben datos desde y hacia el FPGA.

La combinación de esos elementos resulta en la arquitectura básica de un FPGA mostrado en la figura 1.

Una de las ventajas de utilizar un FPGA como core para un diseño es que ofrece la posibilidad de configurar/reconfigurar el hardware a modo [Xilinx], sin quedar sujeto a una arquitectura rígida como es el caso de un MPU, MCU o SoC. La posibilidad del FPGA de reconfigurar el hardware es uno de los valores agregados más apreciados por el momento de este dispositivo. Se presenta como una “hoja en blanco” en la cual uno puede escribir justo lo que se requiera para el diseño; y si es necesario agregar/eliminar otros elementos, se puede realizar a través de la reconfiguración de hardware.

Debido a las ventajas que ofrece el FPGA se propuso diseñar un sistema digital que verificara la hoja de datos de Xilinx en relación a la reconfiguración del hardware, para así corroborar que el FPGA puede ser utilizado como core en un sistema híbrido. El término híbrido hace referencia a que los dispositivos que maneja el FPGA funcionando como core pueden ser sensores, actuadores, smartphones, MCU, etc. Se consideró comunicar un MCU con el FPGA solamente para probar la comunicación transparente entre el MCU y el FPGA.

Este trabajo se desarrolló en el laboratorio de Electrónica del TecNM-ITTehuacán. El FPGA utilizado fue el Artix-7 (XC7A35T-1CPG236C) de la tarjeta Basys3.

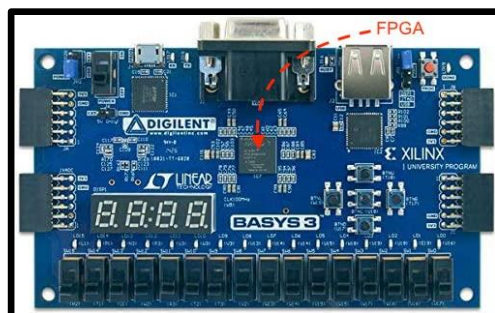


Figura 2. Tarjeta Basys3 [Basys3].

Para facilitar la implementación de este diseño la tarjeta Basys3 fue utilizada ya que ofrece algunos periféricos integrados como son el puerto USB y el VGA, 16 interruptores del tipo deslizables, 5 interruptores tipo pulsadores (push-button), 16 LEDs, 4 display de 7 segmentos entre otros recursos [Basys3]. Es necesario mencionar que todos los periféricos están disponibles en la tarjeta Basys3 pero no están físicamente conectados al FPGA para disponer de un diseño limpio o en blanco. La figura 2 muestra una imagen de la tarjeta Basys3 utilizada en este proyecto.

Descripción del Método

Con la finalidad de verificar que el FPGA puede ser el core de un sistema híbrido, además de agregar elementos al diseño original, se propusieron dos escenarios.

Escenario 1

Para este escenario el sistema a diseñar considera un FPGA como core y el manejo de dos sensores uno de temperatura y otro ultrasónico para medir distancia. Los valores tanto de la temperatura como de la distancia se mostraron en los cuatro displays de siete segmentos de la tarjeta Basys 3. Los valores de temperatura y distancia fueron leídos al mismo tiempo. En dos displays de siete segmentos se mostraba el valor de la temperatura y en los otros dos displays se mostraba el valor de la distancia a un cierto objeto.

Escenario 2

Para el segundo escenario se agregó un actuador (motor de CD de 5 V). Éste, fue controlado por un smartphone vía un módulo Bluetooth HC-05 y comunicación serial con el FPGA. Además se agregó un MCU Arduino Nano para enviar al FPGA los datos leídos por el sensor de temperatura vía comunicación serial. En este escenario se sustituyeron los cuatro displays de siete segmentos por un LCD. Los valores obtenidos por los dos sensores son almacenados en el FPGA para luego ser mostrados en un LCD. Los comandos enviados por el smartphone para manipular el actuador son procesados por el FPGA y posteriormente enviados a un puente H para manejar el actuador. El smartphone se comunica con un módulo Bluetooth y éste con el FPGA. El módulo Bluetooth HC-05 por un lado dispone de un módulo de comunicación serial y es a través de éste que se comunica con el FPGA. Por otro lado, el módulo HC-05 se comunica vía Bluetooth con el smartphone. De esta forma los comandos para manejar el motor de CD de 5V son inicialmente enviados por el smartphone, éste los envía al módulo HC-05, quien recibe los comandos y los hace llegar al FPGA a través de la comunicación serial. Entonces el FPGA envía los comandos procesados a un puente H y éste así maneja el motor de CD.

El MCU Arduino Nano lee la temperatura ambiente a través de un sensor LM35 y el valor de temperatura leído es enviado a través del puerto serial del Arduino Nano al FPGA, para éste finalmente enviarlo a un LCD. Por supuesto que el módulo Arduino Nano bien puede enviar el valor de temperatura al LCD pero como en este proyecto la idea es que los datos leídos sean manejados por el FPGA, se optó por enviar los datos al FPGA y finalmente este último los envía al LCD.

Estos cambios para el segundo escenario fueron propuestos con la finalidad de verificar la reconfiguración de hardware en el FPGA. La figura 3 muestra el diagrama a bloques del segundo escenario.

La programación del MCU Arduino Nano fue realizada en C para la lectura del sensor LM35. A través de uno de los puertos de comunicación serial del MCU el dato leído era enviado al FPGA.

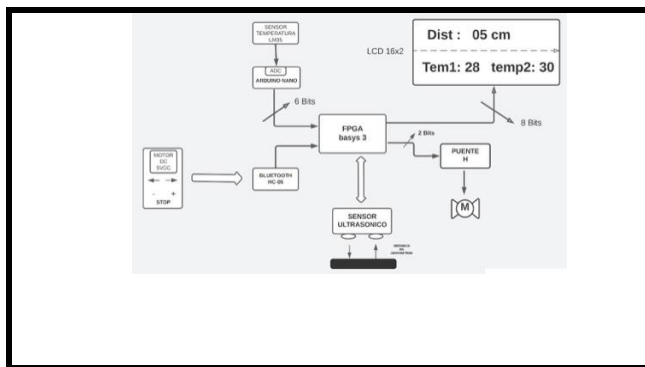


Figura 3. Diagrama a bloques del sistema propuesto.

Las figuras 4 a 9 muestran imágenes de los dispositivos utilizados para este proyecto. Se puede consultar la sección de referencias para una mayor información sobre cada dispositivo.



Figura 4. FPGA utilizado.

Figura 5. LM35.

Figura 6. HC-SR04.

Figura 7. Puente H.

El control de los sensores y actuadores conectados al FPGA fue realizado en VHDL. Dos módulos de comunicación serial fueron implementados en VHDL. El primero, para comunicarse con el MCU Arduino y el segundo, para comunicarse con el módulo Bluetooth HC-05, los cuales también fueron implementados en VHDL.

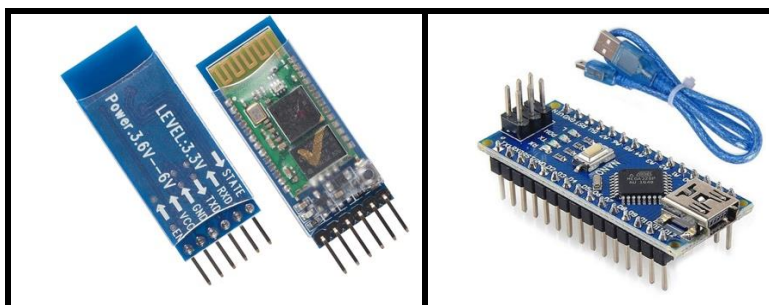


Figura 8. HC-05.

Figura 9. Arduino Nano.

Pruebas

El sistema se probó de manera parcial y gradual. Los dos escenarios fueron probados. Para el primer escenario, lo primero que se hizo fue programar el FPGA para leer el sensor de temperatura LM35 y el sensor ultrasónico. Debido a que el sensor es relativamente fácil de utilizar se utilizó el MUC de Arduino; la lectura de la temperatura no presentó mayor problema. Donde se encontró el primer problema fue en la comunicación serial entre el MUC Arduino y el FPGA. La parte de programación del FPGA en VHDL fue un tanto difícil en relación con establecer el baud rate. Después de varias modificaciones y pruebas, esta parte de comunicación funcionó correctamente.

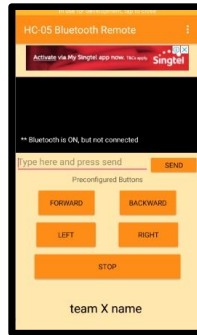


Figura 10. App para manejo del motor.

En relación al sensor ultrasónico se programó en VHDL. Se generó un módulo contador de pulsos para medir el tiempo de recepción de la señal emitida por el sensor al objeto y así proceder a calcular la distancia del sensor al objeto. Después de algunas correcciones en VHDL esta etapa también funcionó correctamente.

La parte que fue sencilla de programar en VHDL fue la de enviar los resultados de los valores leídos por los dos sensores a los cuatro displays de 7 segmentos. En esta etapa no se presentó problema alguno.

Para el segundo escenario, se volvió a programar el FPGA pero ahora se agregó otro módulo de comunicación serial al FPGA. El código de comunicación serial fue una réplica del utilizado en el escenario 1 para la comunicación entre el MCU y el FPGA. Lo cual agilizó la etapa de comunicación entre el FPGA y el módulo Bluetooth HC-05. Para la comunicación entre el smartphone y el módulo HC-05 se utilizó la app “hc-05 bluetooth-interface-wi” de Google Play, figura 10.

La programación del LCD se realizó en VHDL. Esta etapa generó algunos problemas para mostrar los resultados debido a conexiones erróneas y valores equivocados en estar manejando algunos tipos de datos para el LCD. Una vez corregidos estos errores la etapa funcionó correctamente.

Resultados

Después de una serie de pruebas y correcciones en cuanto a conexiones y programación del FPGA, el sistema híbrido funcionó correctamente en su totalidad teniendo como core al FPGA. La temperatura medida al igual que la distancia del sensor ultrasónico a un objeto fueron medidas correctamente. El motor fue controlado de manera correcta por el smartphone. Y los valores mostrados en el LCD eran nítidos y consistentes. Por falta de espacio no se muestra el diagrama eléctrico detallado ni el código C y VHDL ya que son muy largos. La figura 11 muestra al FPGA como core del sistema híbrido del escenario 2.

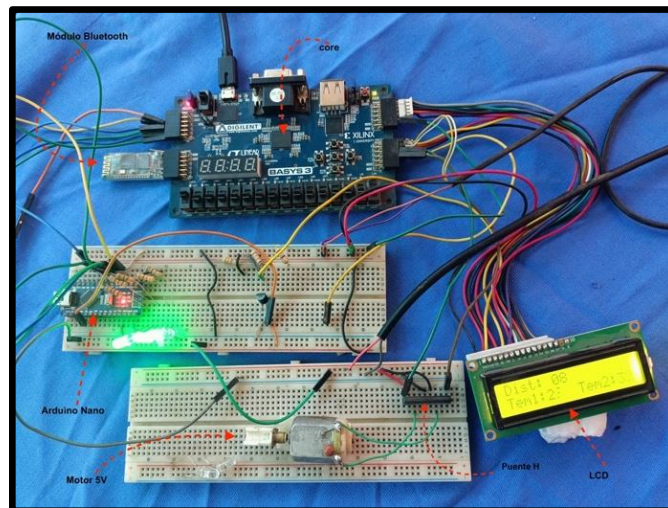


Figura 11. El FPGA como core de un sistema híbrido.

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que el FPGA permite:

1. La reconfiguración total en hardware de dicho dispositivo. La arquitectura del FPGA para el escenario dos fue más complicada que la del escenario 1, pero aún así se logró la implementación y funcionamiento del escenario dos.
2. El manejo de un sistema híbrido utilizando el FPGA como core. Diferentes dispositivos integraron este sistema como sensores, actuadores, módulo Bluetooth, MCU y LCD.
3. El funcionamiento correcto y consistente del sistema. Una vez corregidos los errores de conexión y programación el sistema funcionó en su totalidad de manera correcta.
4. La ejecución de manera concurrente. Los dos sensores y el actuador estuvieron funcionando al mismo tiempo, dando lugar a la concurrencia.

La flexibilidad del hardware (reconfiguración) y sus recursos circundantes de fábrica permiten no tan sólo utilizar al FPGA como core de un sistema híbrido digital sino que también permiten agregar/eliminar elementos del sistema sin necesidad de verse limitado por los recursos fijos ofrecidos por dispositivos con una arquitectura rígida.

Trabajo futuro

Los resultados obtenidos en este trabajo abren la puerta a nuevos escenarios en los cuales el FPGA puede ser protagonista como un core. Se está contemplando la posibilidad de utilizar el FPGA como core para un sistema que controle una celda de manufactura Festo. Esto con la finalidad de probar el comportamiento del FPGA y sus posibles alcances y limitaciones en aplicaciones de automatización industrial.

Referencias

Basys3. <https://digilent.com/shop/basys-3-artix-7-fpga-trainer-board-recommended-for-introductory-users/>

c3controls, 2020. Microcontrollers Versus PLC's: A Detailed Comparison. <https://www.c3controls.com/white-paper/microcontrollers-versus-plcs-detailed-comparison/>

Dziczek K, 2021. Forbe Wheels. Chip Shortages Force Automakers To Slash Production. <https://www.forbes.com/wheels/news/chip-shortages-force-automakers-slash-production/>. Jan 14 2021.

GEEKS FOR GEEKS.ORG, 2022. DIFFERENCE BETWEEN MCU AND SOC. [HTTPS://WWW.GEEKSFORGEEKS.ORG/DIFFERENCE-BETWEEN-MCU-AND-SOC/](https://www.geeksforgEEKS.ORG/DIFFERENCE-BETWEEN-MCU-AND-SOC/)

Jain S and Pathak P, 2022. Testing Automotive MCU – An Overview. Electronicsforu.com. <https://www.electronicsforu.com/market-verticals/testing-automotive-mcu-overview>

MICROCHIP, 2022. AUTOMOTIVE MICROCONTROLLERS AND MICROPROCESSORS. [HTTPS://WWW.MICROCHIP.COM/EN-US/SOLUTIONS/AUTOMOTIVE-AND-TRANSPORTATION/AUTOMOTIVE-PRODUCTS/MICROCONTROLLERS-AND-MICROPROCESSORS#](https://www.microchip.com/en-us/solutions/automotive-and-transportation/automotive-products/microcontrollers-and-microprocessors#)

Thornton S 2017. Microcontrollers Tips. Microcontrollers vs. Microprocessors: What's the difference? <https://www.microcontrollertips.com/author/scott-thornton/>

Xilinx https://www.xilinx.com/html_docs/xilinx2017_4/sdaccel_doc/gac1504034293050.html

Análisis de la Temperatura del Agua Subterránea con Machine Learning (ML)

Ing. Carlos Regis Robles¹, Dr. Carlos Francisco Bautista Capetillo²,
Dr. Julián González Trinidad³, Dr. Hugo Enrique Júnez Ferreira⁴, Dr. Efrén González Ramírez⁵, Dr. Cruz Octavio
Robles Roveló⁶

Resumen— El agua subterránea es la principal reserva que tiene la humanidad para abastecer diferentes usos. En el caso de México ayuda al crecimiento socioeconómico de varias regiones. Por lo cual es necesario estar monitoreando a través de generar redes que permiten observar el comportamiento del agua subterránea en los acuíferos. En esta investigación se presenta un análisis de la información recabada en el acuífero Calera, Zacatecas, utilizando un modelo de Inteligencia Artificial (I.A.) de tipo clúster conocido como K-means para realizar una agrupación algunas características químicas del agua y su relación con la temperatura bajo un enfoque espacio-temporal. Los resultados obtenidos sugieren que existe una relación en las variaciones de la temperatura de tipo espacial y una posible asociación con el tipo de suelo en la zona de estudio.

Palabras clave— Agua Subterránea, Levellogger, Machine Learning, Cluster, k-means

Introducción

A nivel mundial la accesibilidad al agua ha disminuido y se reporta que la contaminación del agua ha aumentado, por lo cual el reto es realizar una gestión que garantice la sustentabilidad, para ello se requiere de trabajos científicos que permitan entender y comprender los procesos que determinan la calidad y cantidad del agua subterránea.

El agua subterránea es el gran reservorio que tiene la humanidad para abastecer de agua a los diferentes usos (riego, urbano, industrial, pecuario y ambiental), por lo cual el estudio de esta es prioritario, ya que, durante las últimas décadas, la demanda del agua ha crecido, debido a que la población y la agricultura de riego requieren de mayor agua para satisfacer sus necesidades. En las últimas décadas se han desarrollado una serie de técnicas que permiten un mejor análisis del comportamiento del agua, como la teoría de sistemas de flujo (TSF), inteligencia artificial (IA) y dentro de estas las técnicas de Machine Learning (ML) (Graf and Aghelpour, 2021).

Para contribuir a entender mejor el sistema se ha aplicado la teoría de sistemas de flujo, que indica que existe una interconexión entre las diferentes formaciones geológicas por donde circula el agua subterránea (Figura 1). Para contribuir a definir los TSF se debe monitorear las variables que intervienen en este proceso, una de ellas es el seguimiento de la evolución de la temperatura de tal manera que se puede indicar que bajas temperaturas predomina el flujo local, temperaturas del orden de 18-28 °C flujo intermedios y mayores de 30 °C flujos regionales (Woessner & Poeter, 2020).

En esta investigación se utilizará, la teoría de sistemas de flujo (TSF), para entender el movimiento del agua en un acuífero, empleando la red de levelloggers (CONAGUA; COTAS 2015), del acuífero “Calera. El objetivo de esta investigación es estimar el comportamiento espacio-temporal de la temperatura registrada en los levelloggers del acuífero Calera, Zacatecas y su clasificación con un algoritmo de ML (k-means), utilizando los registros históricos.

El monitoreo del comportamiento de la temperatura del agua subterránea, a través de los levelloggers, permite generar información de la evolución del agua en un acuífero, por otro lado, ayuda a identificar los sistemas de flujo. Sin embargo, uno de los inconvenientes que se tiene es la obtención en campo de los datos debido al costo elevado de los equipos y del personal que realiza el monitoreo.

¹ Ing. Carlos Regis Robles es estudiante de la Maestría en Ciencias del Procesamiento de la Información en la Universidad Autónoma de Zacatecas ing.regis.35163249@uaz.edu.mx

² El Dr. Carlos Francisco Bautista Capetillo es Profesor en la Universidad Autónoma de Zacatecas baucap@uaz.edu.mx

³ El Dr. Julián González Trinidad es Profesor en la Universidad Autónoma de Zacatecas jgonza@uaz.edu.mx

⁴ El Dr. Hugo Enrique Júnez Ferreira es Profesor en la Universidad Autónoma de Zacatecas hejunez@uaz.edu.mx

⁵ El Dr. Efrén González Ramírez es Profesor en la Universidad Autónoma de Zacatecas gonzalezefren@uaz.edu.mx

⁶ El Dr. Cruz Octavio Robles Roveló es Profesor en la Universidad Autónoma de Zacatecas octavio.robles@uaz.edu.mx

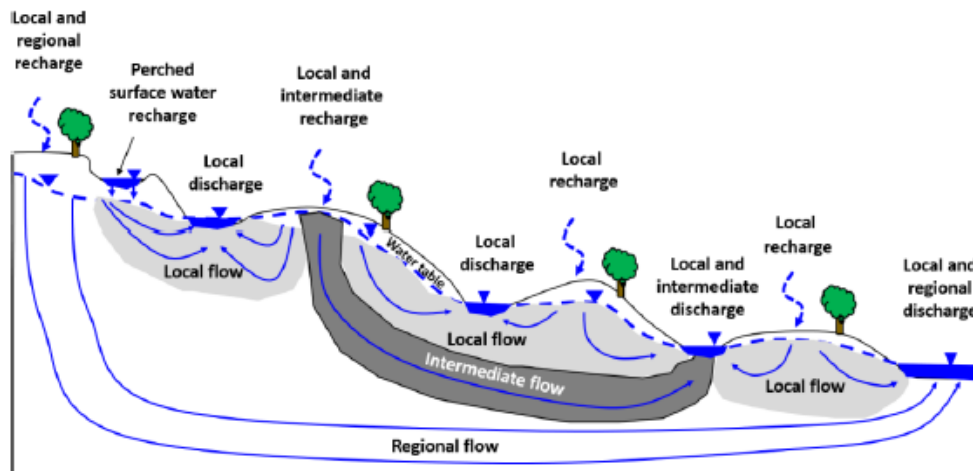


Figura 1. Comportamiento de los sistemas de flujo. Tomado de Woessner, William W. and Eileen P. Poeter 2020

Descripción del Método

Zona de estudio

El acuífero Calera (Figura 2), definido con la clave 3225 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA (2022), se localiza en la porción central del estado de Zacatecas; limita al norte con los acuíferos Aguanaval y Guadalupe de Las Corrientes, al noreste y este con Chupaderos, al sur con Benito Juárez, al suroeste con Jerez y al oeste también con Aguanaval, cubriendo una superficie aproximada de 2,226 km². Geopolíticamente el área que cubre el acuífero comprende la totalidad de los municipios General Enrique Estrada y Morelos, la mayor parte de Calera, Frenillo y Zacatecas, así como porciones menores y pequeñas de Pánuco, Vetagrande, Jerez y Villa de Cos.

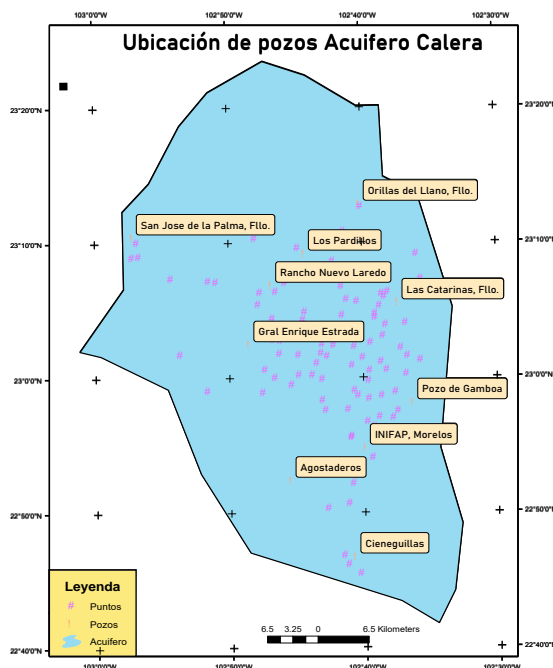


Figura 2. Localización del Acuífero y Registros.

k-means

Los modelos k-means son algoritmos de clasificación no supervisada que agrupa objetos en k-grupos basándose en sus características. El agrupamiento se realiza minimizando la suma de distancias entre cada objeto y

el centroide de su grupo. Es común que para este algoritmo se use la distancia cuadrática. El algoritmo k-means resuelve un problema de optimización, siendo la función a optimizar (minimizar) la suma de las distancias cuadráticas de cada objeto al centroide de su grupo o cluster.

El algoritmo consta básicamente de tres pasos:

1. **Inicialización:** se establecen k-centroides en el espacio de los datos, esto se puede realizar de manera aleatoria.
2. **Asignación de los objetos a los centroides:** cada objeto de la información es asignado o agrupado a su centroide más cercano.
3. **Actualización de los centroides:** Se actualiza la posición del centroide de cada grupo tomando como nuevo centroide la posición promedio de los objetos pertenecientes a dicho grupo.

Se repiten los pasos 2 y 3 hasta que los centroides no se muevan, o se muevan por debajo de una distancia con cierto umbral (Wishart, 2014).

Metodología

Los datos utilizados en esta investigación fue tomada a través de la red de leveloggers que se tiene instalada en el acuífero “Calera” por COTAS y CONAGUA (2015), la red contiene 10 pozos o lugares distribuidos donde se registran alturas y temperatura del agua a nivel diario. Además, se cuenta con la base de datos de 99 pozos con una medición única de la química del agua (Figura 2). El análisis de la información inicio con la matriz de correlación considerando la temperatura registrada en la red de leveloggers, para posteriormente realizar el algoritmo k-means con k=3, para identificar los posibles sistemas de flujos (locales, intermedios y regionales). Se escalaron los datos fue usando un z-score, ya que existían algunos registros con rangos altos y estos influirían en la clasificación, para la inicialización de los centroides se hizo de manera aleatoria y se utilizó las distancias cuadráticas.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

La matriz de correlación generada con los 10 pozos del primer registró, indica que existen una relación entre en los pozos de **Inifap**, **Las catarinas** y **San José de la Palma**, visualizando el mapa del acuífero (Figura 2) se puede mencionar que probablemente existe una interconexión entre estos.

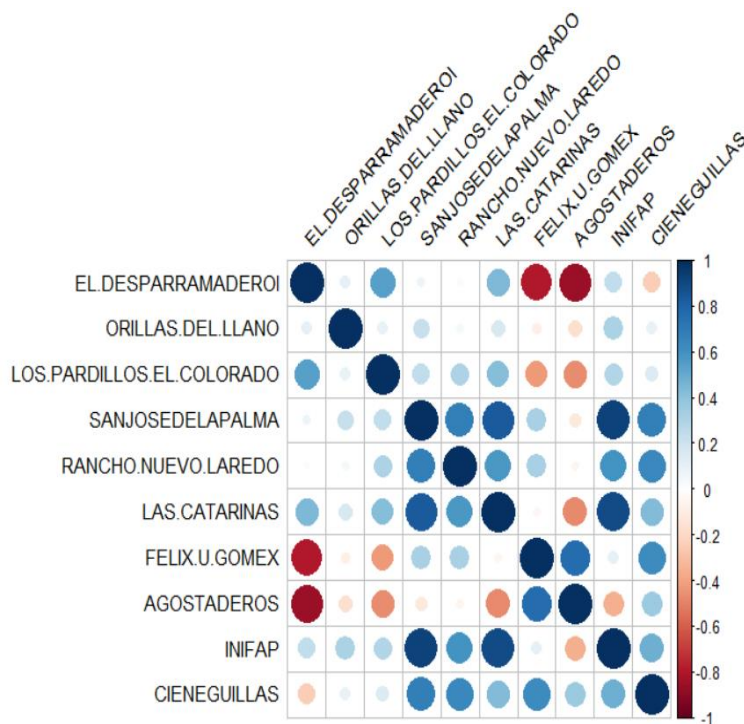


Figura 3. Matriz de correlación primer registro

El modelo k-means logro agrupar la información (Figura 4), ya con el modelo generado se transfirió esta clasificación de manera espacial utilizando la herramienta ArcMap.

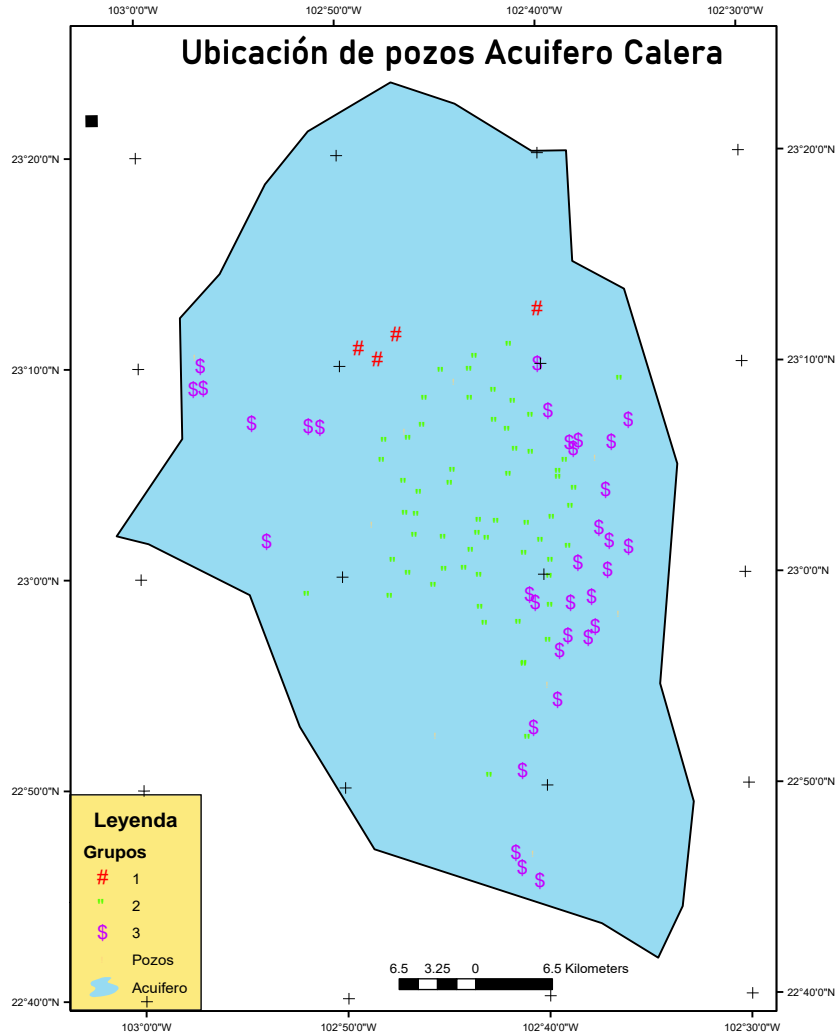


Figura 4. Mapa Espacial de los grupos con k-means.

De acuerdo a la Figura 4 se tiene un poco dispersión en los grupos de clasificación, con el apoyo de la herramienta de Google Earth Pro se visualizó la orografía de la región para evaluar posible efecto en la agrupación.

Se puede observar en la Figura 5 que los pozos pertenecientes al grupo 3 (Cuadrados morados) se encuentran sobre el mismo tipo de suelo, que se usa para la agricultura, con respecto a los pozos del grupo 2 (Círculos verdes) se tiene que es otro tipo de suelo al igual que grupo 1.

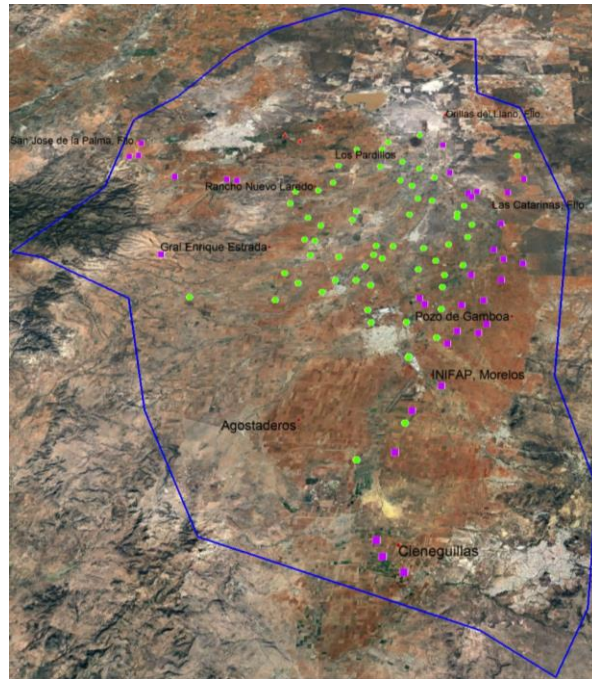


Figura 4. Mapa Espacial orográfico de los grupos con k-means.

Conclusiones

Con base a los análisis realizados se concluye que existe una relación en las variaciones de la temperatura de tipo espacial y una posible asociación con el tipo de suelo en la zona de estudio, lo cual se refuerza con el modelo de k-means.

Se encontró además la evolución del agua en los aprovechamientos rancho nuevo, inifap y las catarinas ya que la temperatura se va incrementado considerando esta trayectoria.

Los resultados aquí presentados son parciales ya que se continúa analizando las relaciones temperatura, conductividad eléctrica del agua, cloruros y sulfatos.

Referencias

- CONAGUA. (2019). *Estadísticas del Agua en México 2019*.
- Graf, R., & Aghelpour, P. (2021). Daily river water temperature prediction: A comparison between neural network and stochastic techniques. *Atmosphere*, 12(9), 1–22. <https://doi.org/10.3390/atmos12091154>
- Wishart, D. (2014). k -means Analysis. In *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat06492>
- Woessner, W. W. (2020). Groundwater-Surface Water Exchange. In *The Groundwater Project*.
- Woessner, W. W., & Poeter, E. P. (2020). Hydrogeologic Properties of Earth Materials and Principles of Groundwater Flow. In *Groundwater* (Vol. 59, Issue 3). <https://doi.org/10.1111/gwat.13085>

Prototipo de Monitor de Signos Vitales y Calidad del Aire

Ing. Berenice Daniela Ricardi Tejeda¹, Dra. Irma Delia Rojas Cuevas²,
Dr. José Rafael Mendoza Vázquez³, Dr. Sergio Javier Torres Méndez⁴ y M.C. Vicente Ramírez Palacios⁵

Resumen—En este artículo se presenta un prototipo de monitor de signos vitales y calidad del aire. El sistema mide parámetros como la presencia de gases, pulso, saturación de oxígeno, temperatura y respuesta galvánica de la piel. El prototipo tiene la finalidad de ser un auxiliar en la prevención de emergencias médicas por intoxicación de gases nocivos en ambientes peligrosos. Para el desarrollo se utilizó una metodología de cinco etapas: definición del problema, determinación de requerimientos, selección de componentes, desarrollo del prototipo y pruebas del sistema. Para la lectura de sensores se emplea un microcontrolador Arduino; para la medición de calidad del aire se usó un sensor MQ-135, para la medición del pulso se utilizó un sensor S0136; para la saturación de oxígeno se ocupó el sensor MAX30102, para la temperatura y respuesta galvánica de la piel se usó el sensor Grove-GSR. Para la visualización de parámetros se emplea una interfaz gráfica creada en Python y para la base de datos se utiliza SQLITE. Como resultados se tienen el prototipo electrónico, la adquisición de señales y su procesamiento, la visualización de los datos con interfaz gráfica y el registro en una base de datos de la adquisición de los parámetros establecidos.

Palabras clave—monitor, signos vitales, calidad del aire, sensado, diseño.

Introducción

En los últimos años se ha visto la necesidad de medir, procesar y registrar los signos vitales con el objetivo de controlar y prevenir emergencias médicas durante la realización de trabajos en ámbitos de peligro latente.

En México, han ocurrido accidentes relacionados con sustancias químicas tales como la explosión de gas LP en San Juanico, propiedad de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y cercana a la ciudad de México, ocurrida en el año 1984, dicho incidente provocó más de 500 muertes y 2000 lesionados; el incendio de Anaversa en 1991, una empresa de agroquímicos en Córdoba, Veracruz (Ugalde,2017); la explosión de gas propano de la Terminal Satélite Norte de Pemex en San Juan Ixhuatepec, Estado de México, en 1996 (Albert & Jacott,2015); la explosión en el drenaje de Guadalajara, Jalisco, en 1992; la explosión con gas etano en el Complejo Procesador de gas en Reforma, Chiapas, en 1996, entre otros (Sarmiento Torres, Ortíz Espinosa, & Álvarez Rosas,2003).

De acuerdo con el Gobierno de México (2022), el Estado de Puebla ocupa el séptimo lugar con el mayor número de incendios forestales y superficie en vegetación sensible al fuego. Así mismo, tan solo en el periodo del 01 enero al 15 de septiembre de 2022, el personal participante acumulado (días/persona) entre oficiales CONAFOR, servicios ambientales, oficiales CONANP, SEDENA, SEMAR, Gobierno del Estado, Protección Civil Estatal, Gobierno del Municipio, Protección Civil Municipal, voluntarios, propietarios y poseedores de terrenos forestales, ONG's y sector privado es de un total de 9,054.

En adición, en espacios confinados como minas y refinerías de petróleo se pueden presentar una diversidad de gases licuados tales como nitrógeno, argón o dióxido de carbono líquidos y si se evapora un litro de cualquiera de estos líquidos se pueden generar hasta 850 litros de gas, lo que puede causar una deficiencia en el oxígeno.

Actualmente, no se cuenta con un dispositivo capaz de detectar la presencia latente de gases nocivos y que realice el monitoreo de signos vitales en tiempo real con el fin de prevenir incidentes en el personal que ingresará a la escena del evento, relevando el aspecto tecnológico del presente proyecto.

La propuesta de solución es emplear la arquitectura de sistemas de tipo electrónico que integren elementos electrónicos y de software a fin de que el sistema registre la calidad del aire del entorno de trabajo, interactúe con el usuario y le proporcione información del ambiente donde se desplaza y de los parámetros vitales en tiempo real. Con este sistema se puede desarrollar un conjunto de estrategias para el procesamiento de señales, con un arreglo de

¹ La Ing. Berenice Daniela Ricardi Tejeda es estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Puebla, México im14221722.62@puebla.tecnm.mx (autor correspondiente).

² La Dra. Irma Delia Rojas Cuevas es Profesora del Departamento de Ingenierías y Profesora de la Maestría en Ingeniería Electrónica en el Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Puebla, México irma.rojas@puebla.tecnm.mx

³ El Dr. José Rafael Mendoza Vázquez es Profesor del Departamento de Eléctrica y Electrónica y Profesor de la Maestría en Ingeniería en Electrónica en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Puebla, México rafael.mendoza@puebla.tecnm.mx

⁴ El Dr. Sergio Javier Torres Méndez es Profesor del Departamento de Metal-Mecánica y Profesor de la Maestría en Ingeniería en Electrónica en el Tecnológico Nacional de México Campus Puebla sergio.torres@puebla.tecnm.mx

⁵ El M.C. Vicente Ramírez Palacios es Profesor del Departamento de Eléctrica y Electrónica y Profesor de la Maestría en Ingeniería en Electrónica en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Puebla, México vicente.palacios@puebla.tecnm.mx

sensores e identificar anomalías en los parámetros vitales y detectar la presencia de gases nocivos. Estas señales, serán procesadas en dispositivos electrónicos y permitirán auxiliar al usuario para que pueda identificar la presencia de riesgos y tomar las decisiones adecuadas para evacuar la escena de trabajo. Con ello, se busca que el usuario se incorpore en un futuro a actividades cotidianas y laborales en forma segura. A continuación, se presenta la propuesta del sistema electrónico para el monitoreo de la calidad del aire y de signos vitales.

Descripción del Método

Para el desarrollo de la arquitectura del prototipo se utilizó una metodología de cinco etapas (ver Figura 1). Las etapas contempladas son: la definición del problema, a fin de conocer la situación actual de la problemática y definir las motivaciones de la investigación; determinación de requerimientos, en donde se elaboran los documentos relacionados al desarrollo del prototipo y se especifican datos de comunicación, interfaz, módulos a programar y pruebas de funcionamiento; con la información anterior se seleccionan los componentes; se desarrolla el prototipo del sistema y se integran los componentes; finalmente se desarrollan pruebas de validación del sistema.

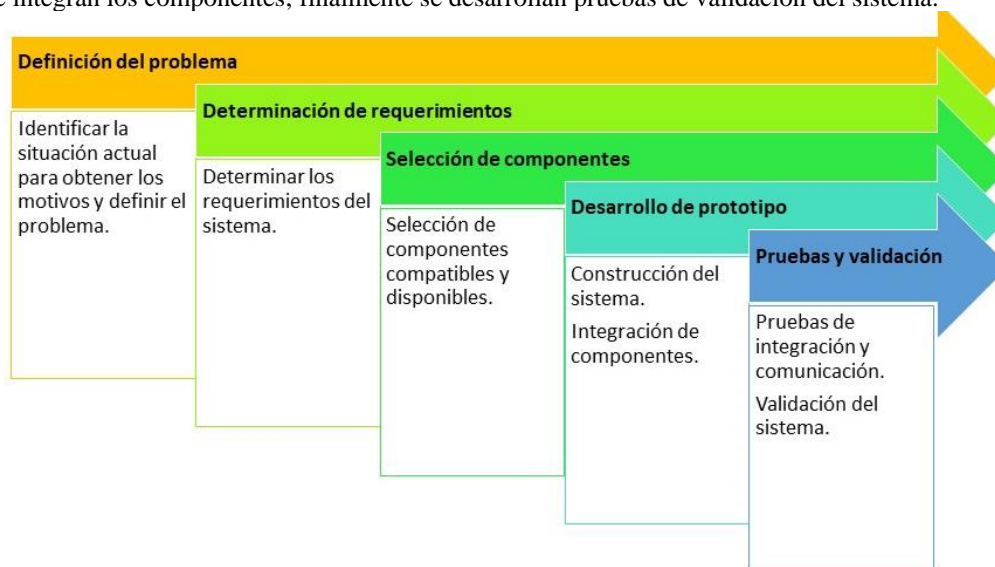


Figura 1. Metodología de desarrollo para el sistema electrónico. Fuente: elaboración propia.

Definición del problema

Para poder comprender mejor el tema, las actividades para el desarrollo de la arquitectura del prototipo iniciaron con la identificación de las necesidades en la diversidad de labores consideradas como trabajos de alto riesgo que involucran sustancias peligrosas entre ellos gases nocivos, en la que se realizó la investigación de los antecedentes de accidentes en México relacionados con sustancias químicas.

El factor de riesgo más común es la inhalación de gases tóxicos ya que se evaporan sustancias como óxidos, nitratos, sulfatos, entre otros, y pueden provocar una deficiencia de oxígeno, es decir, la sangre no podrá recibir la cantidad adecuada de oxígeno (O_2) para que el organismo funcione correctamente, desencadenando daños fisiológicos como, por ejemplo, disminución de la frecuencia cardíaca causando fallos en órganos y tejidos traduciéndose en daños a nivel metabólico, circulatorio y cerebral llevando a un desenlace fatal (Salamanca,2018).

Determinación de requerimientos

Con base en las necesidades y riesgos identificados, se pueden definir los requerimientos del sistema. En primer lugar, se encuentran los requerimientos funcionales los cuales son: a) detectar la presencia de gases nocivos, b) monitorizar los parámetros vitales relevantes para identificar anomalías, c) retroalimentar al usuario la información de la calidad del aire y de los signos vitales del mismo, d) peso ligero para ser instalado y que permita el uso normal, e) alertas al usuario en modo visual. Dentro de los requerimientos no funcionales están el color y la estética del sistema instalado. Estos requerimientos no intervienen en la operación y funcionalidad del sistema.

Arquitectura del sistema

Se propone la siguiente arquitectura (ver Figura 2) donde el sistema tiene una serie de sensores que pueden detectar la presencia de gases nocivos, monitorizar los signos vitales principales (pulso, temperatura y respuesta

galvánica de la piel) y se envían los datos al microcontrolador; tiene comunicación tipo serial para el almacenamiento de información en una base de datos; para el caso de mantenimiento o gestión de datos el sistema tiene una placa central basada en un microcontrolador donde se puede desarrollar el control y procesamiento de las señales de los sensores. La visualización de datos se realiza a través de una interfaz gráfica desarrollada en Python.

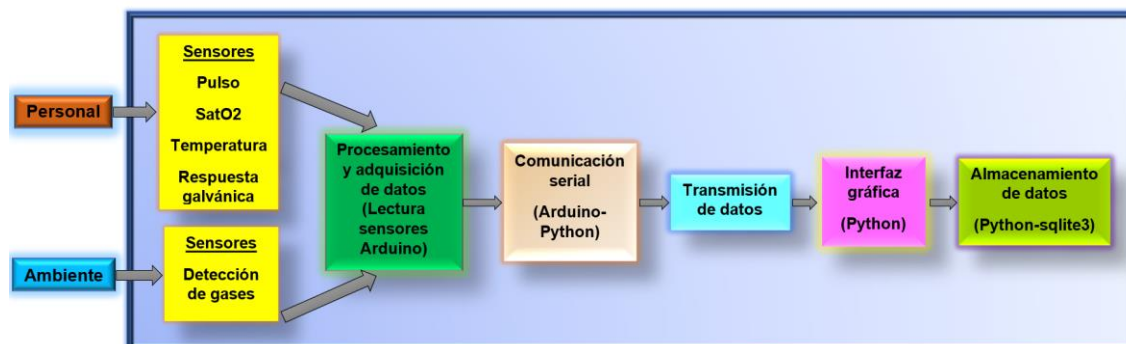


Figura 2 Arquitectura del sistema. Fuente: elaboración propia.

Componentes

Los componentes seleccionados se presentan a continuación: a) guante. Como elemento de soporte para los sensores se utiliza un guante ergonómico de 3 dedos, ligero y transpirable. Este elemento fue elegido tomando en cuenta que se busca que el sistema sea portátil. b) Los sensores, son el sensor de gas MQ-135 que detecta gases en el aire como amoníaco (NH₃), acetona, tolueno, alcohol, óxidos de nitrógeno (NO_x), sulfuros, monóxido de carbono (CO), benceno (C₆H₆), humo y dióxido de carbono (CO₂) (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co.,2015); sensor de pulso S0136; y el sensor galvánico y de temperatura Grove-GSR (Galvanic Skin Response), todos cuentan con conexión para las tarjetas Arduino, Raspberry y para cualquier sistema basado en un microcontrolador. c) Para el procesamiento de datos y la adquisición de señales, se utiliza el microcontrolador Arduino UNO.

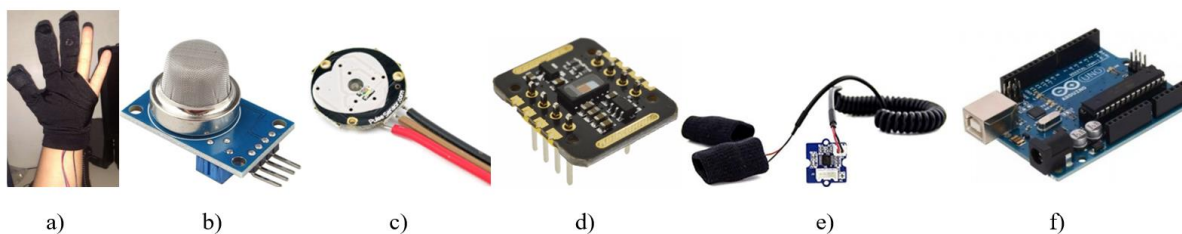


Figura 3. a) Guante para el sistema electrónico, b) Sensor de gas MQ-135, c) Sensor de pulso S0136, d) Sensor pulsioxímetro MAX30102 e) Sensor galvánico y de temperatura Grove-GSR, f) Tarjeta de control y procesamiento Arduino UNO.

Interfaz gráfica y base de datos del sistema

La interfaz gráfica se desarrolló con el lenguaje de programación Python versión 3.11.0 con la ayuda de la librería tkinter, tomando en cuenta que la comunicación serial que se realiza entre Arduino y Python permite la visualización de datos en tiempo real, así como su almacenamiento en una base de datos con el uso de la biblioteca sqlite3.

En la figura 4 se puede observar la ventana principal de la interfaz gráfica donde se integran varios widgets, entre ellos el botón de ingreso al registro de los usuarios, datos como la fecha y hora actual con ayuda del módulo “datetime”, así como una descripción breve de la interfaz desarrollada.

La ventana de registro se puede observar en la figura 5, la cual se desarrolló como una aplicación CRUD (Create, Read, Update, Delete) donde se solicitan datos básicos como nombre, apellido, edad y sexo (IONOS Digital Guide). El ID se genera de manera automática. Al crear el registro, se visualizará en el cuadro superior derecho; en caso de requerir alguna modificación, se puede realizar con ayuda del botón “Modificar usuario”. Si se desea eliminar algún registro se integró el botón de “Eliminar usuario”.

Dentro de esta misma ventana, se encuentra el widget o botón de “Iniciar monitores”, el cual iniciará la visualización del monitoreo de signos vitales y de la presencia de gases nocivos en tiempo real.



Figura 4. Ventana inicial de interfaz gráfica. Fuente: elaboración propia.

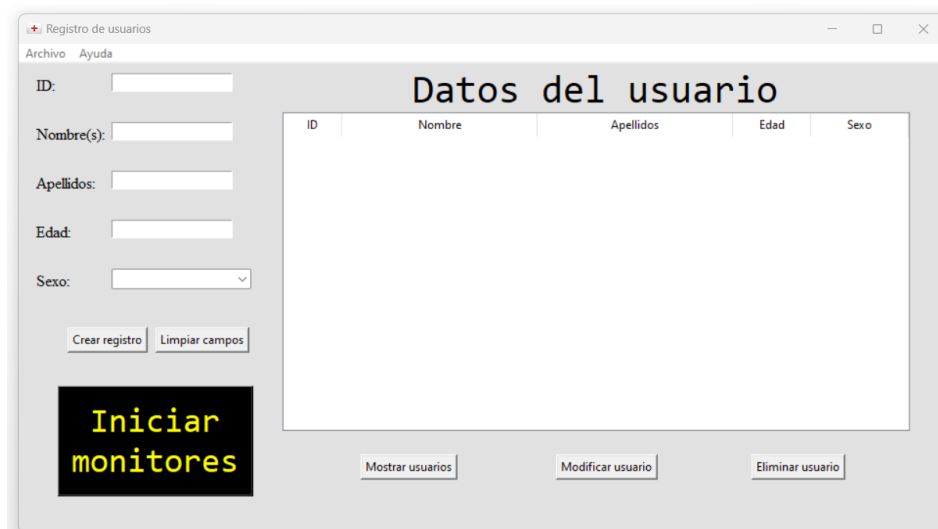


Figura 5. Ventana de registro de usuarios. Fuente: elaboración propia.

En la figura 6, se muestra el ejemplo de monitorización en tiempo real de los cinco parámetros seleccionados. Las gráficas fueron programadas con el paquete “matplotlib” ideal para representaciones gráficas (Delgado,2023).

La gráfica que representa la lectura del sensor de gas, mismo que permite la detección de gases nocivos en un rango de 10-1000 ppm (partes por millón), por lo tanto, la relación se registra entre ppm y el número de muestras recolectadas. Para la delimitación del eje “y” se consideró que la concentración mayor a 2000 ppm representa un riesgo para la salud (Abbas, Saadon, Abdalrdha, & Abud,2020).

Para el caso de la gráfica del pulso, se registra la relación de bpm (bits por minuto) y el número de muestras recolectadas. Tomando en cuenta que el rango normal de pulso en una persona sana es de 60-100 bpm (Penagos, Salazar & Vera, 2005), el límite del eje x se amplía para poder visualizar alguna anomalía.

Para la visualización de la saturación de oxígeno se genera una gráfica con la relación entre el porcentaje de oxígeno en sangre y el número de muestras recolectadas.

La gráfica generada para la temperatura del usuario indica la relación entre los grados centígrados y el número de muestras recolectadas. De acuerdo con el rango de temperatura normal en una persona sana de 36.0-37.0°C (Penagos, Salazar & Vera, 2005), se amplía el eje x para poder detectar alguna variación anormal de dicho signo vital.

La respuesta galvánica se registra en una gráfica que relaciona la actividad electrodérmica con el número de muestras recolectadas.

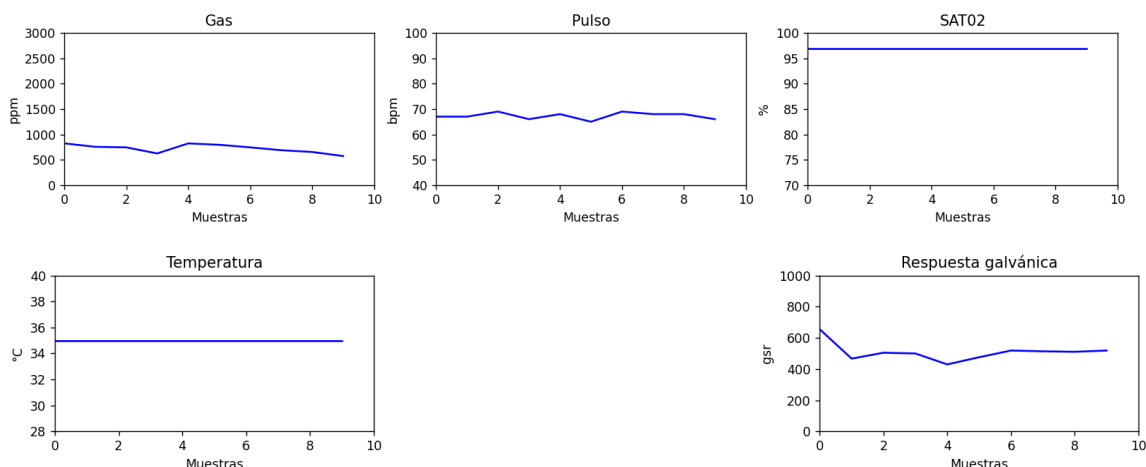


Figura 6. Ventana de visualización del monitoreo de signos vitales y de calidad de aire en tiempo real. Fuente: elaboración propia.

En el caso de la base de datos, el registro se hace en paralelo a la monitorización, en la figura 7 se puede observar que se genera una tabla con la información de los parámetros obtenidos. Las primeras diez lecturas corresponden al precalentamiento requerido para el sensor de detección de gases, posteriormente, se comienzan las lecturas reales del usuario.

ID	Gas	Pulso	SatO2	Temperatura	GSR
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
1	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
2	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
3	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
4	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
5	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
6	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
7	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
8	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
9	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
10	300.0	68.0	20.0	20.0	20.0
11	617.0	72.0	96.0	35.0	620.0
12	617.0	72.0	96.0	35.0	450.0
13	530.0	72.0	96.0	35.0	500.0
14	620.0	72.0	96.0	35.0	500.0
15	580.0	72.0	96.0	35.0	400.0

Figura 7. Registro del almacenamiento de información en base de datos.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo investigativo se estudió el diseño conceptual de un monitor de signos vitales y de la calidad del aire.

Se obtuvieron los requerimientos del sistema, la arquitectura del sistema y sus componentes; se programó la adquisición de temperatura, pulso, gas y respuesta galvánica, se desarrolló una interfaz de usuario y una base de datos, y se realizaron pruebas de adquisición de datos.

Conclusiones

Los resultados demuestran la necesidad de desarrollar un sistema de monitoreo de signos vitales y de calidad del aire de bajo costo y con componentes disponibles en el mercado, además de disponer de un grupo de sistemas acorde a las necesidades de los trabajadores de diversos sectores que involucren riesgos ambientales. En la actualidad, se busca que sistemas de este tipo asistan a las personas para proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en situaciones de riesgo y evitar incidencias que provoquen lesiones e incluso la muerte.

Se desarrolló un prototipo de bajo costo que permite el monitoreo de la calidad del aire y parámetros corporales que garantizan el desarrollo de actividades sin riesgo a la salud. Se obtuvo un desarrollo tecnológico y programas en Python que se puede reproducir para múltiples usuarios.

Recomendaciones

Se recomienda a quien esté interesado en el desarrollo de este tipo de sistemas emplear metodologías basadas en requerimientos a fin de disponer de información de los diferentes aspectos que lo deben formar, así como las características a cumplir como es la determinación de componentes, pruebas y el sistema, lo cual permita desarrollar y obtener el sistema programado.

También, este tipo de sistema se debe probar en personal que labora en escenas peligrosas para recibir información valiosa y que permita migrar a un sistema que pueda pasar a una etapa comercial con la garantía de uso y funcionalidad.

Referencias

- Abbas, F. N., Saadon, I. M., Abdalrda, Z. K., & Abud, E. N. (2020). Capable of gas sensor MQ-135 to monitor the air quality with Arduino Uno. *Int. J. Eng. Res. Technol.*, 13(10), 2955-2959.
- Albert, L., & Jacott, M. (2015). México tóxico: emergencias químicas. Siglo XXI.
- Banegas, R. A. C. (2023). Diseño y simulación de un pulsioxímetro a bajo costo.
- Delgado, S. (2023). Aprende Python. Obtenido de <https://aprendepython.es/downloads/907b5202c1466977a8d6bd3a2641453f/aprendepython.pdf>
- Gobierno de México. (2022). *REPORTE SEMANAL NACIONAL DE INCENDIOS FORESTALES*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reporte-semanal-de-incendios>.
- IONOS Digital Guide. (2019). Crud: La base de la gestión de datos. Obtenido de: <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/crud-las-principales-operaciones-de-bases-de-datos/>
- Penagos, S. P., Salazar, L. D., & Vera, F. E. (2005). Control de signos vitales. Guías para manejo de Urgencias. Bogotá (Colombia): Fundación Cardioinfantil, 1465-1473.
- Salamanca, T. (2018). Prototipo de monitorización de signos vitales en espacios confinados. *Visión Electrónica*, 12(1), 83-88. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/13401/13868>.
- Sarmiento Torres, M., Ortíz Espinosa, E., & Álvarez Rosas, J. (2003). Emergencias ambientales asociadas a sustancias químicas en México. Gaceta ecológica.
- Ugalde, V. (2017). Instalaciones peligrosas y ciudad. //Hazardous Facilities and City. Quid 16. Revista del Área de Estudios Urbanos, (8), 5-24.
- Zhngzhou Winsen Electronics Technology Co. (2015). Air Quality Gas Sensor (Model: MQ135). Manual.

Notas Biográficas

La Ing. **Berenice Daniela Ricardi Tejeda**, actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica del Tecnológico Nacional de México campus Puebla. Es egresada de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2019 por la misma institución. Cuenta con certificación en Urgencias Médicas nivel básico por parte de S.O.S Tramedic A.C.

La **Dra. Irma Delia Rojas Cuevas**, obtuvo el grado de Doctora en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro en 2019, por parte de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) y recibió el grado de Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial por parte del Instituto Politécnico Nacional, sección UPIICSA, en el año 2000, con la especialización en Manufactura. Ha desarrollado proyectos para la DGEST en el área de sistemas interactivos, realidad virtual, sistemas de tutorías y sistemas web. Tiene Diplomados en: Desarrollo de habilidades del pensamiento, Trabajo docente por competencias en Educación Superior y Formación y Desarrollo de Competencias Docentes para la DGEST. Actualmente, se desempeña como profesora de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Puebla para el Departamento de Sistemas y Computación. Tiene el premio como Docente distinguido por parte del SNTSE-SEP del Estado de Puebla. Es miembro del Cuerpo Académico Sistemas Interactivos y Realidad Virtual y tiene el reconocimiento de perfil PROMEP. Su investigación se encuentra en el área de Sistemas Interactivos y Realidad Virtual con énfasis en sistemas mecatrónicos.

El **Dr. José Rafael Mendoza Vázquez** recibió el grado de Doctor en Ciencias en Electrónica en 2010 por parte del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en 2003 por la misma institución. Ha trabajado en proyectos de desarrollo tecnológico del tipo robots de aplicación específica y militar con actividades en instrumentación, robótica, automatización y control en aplicaciones marítimas para la Secretaría de Marina, Armada de México. Es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Puebla, en el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Cuenta con más de 10 publicaciones en Congresos Internacionales y Nacionales, así como publicaciones en revistas indexadas. Es miembro del cuerpo académico Sistemas Interactivos y Realidad Virtual. Su investigación se encuentra dentro del área de robótica y control con énfasis en robótica, control de movimiento, modelado, procesamiento de señales y sistemas interactivos

El **Dr. Sergio Javier Torres Méndez**, recibió el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica en 2014 por parte de la Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá; el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en 2008 por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por parte del Instituto Tecnológico de Veracruz en 1995. Es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Puebla desde 1995 y auxiliar en el Laboratorio de Manufactura Avanzada desde 2015. Es miembro del cuerpo académico Sistemas Interactivos y Realidad Virtual. Sus intereses de investigación se relacionan con el diseño y desarrollo de robots de alta velocidad y de sistemas mecatrónicos interactivos para la asistencia humana.

El **M.C. Vicente Ramírez Palacios** recibe el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en 1997 por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica y el título de Ingeniero Industrial en Electrónica en 1996 por el Instituto Tecnológico de Puebla. Es profesor de tiempo completo a nivel Licenciatura en el Instituto Tecnológico de Puebla. Ha trabajado en el área de Automatización y Control de Procesos, utilizando algoritmos de control basados en PID, lógica difusa y redes neuronales; ha desarrollado comunicaciones de procesos a través de redes industriales como son: red ASi, red profibus y red Ethernet, así como controlar y adquirir datos de los procesos por medio de sistemas SCADA. Es integrante del cuerpo

académico Sistemas Interactivos y Realidad virtual y colaborador en el proyecto Impresión 3D de una mano robótica. Ha publicado artículos en Congresos Internacionales con la temática de Automatización, Sistemas Interactivos y Visión por Computadora.

La Importancia de la Salud Mental en los Estudiantes para Reducir el Índice de Reprobación en el Instituto Tecnológico de Puebla

C. Gamaliel Rivera Romero¹, Dra. María Eugenia Ruano Mendoza², M.C Imelda Vega Platas³
M.C.E Miriam Guadalupe Duran Méndez⁴ y M.A Mariana Fernández Garcilazo⁵

Resumen—Los altos índices de reprobación en ingeniería industrial afectan la eficiencia terminal del Instituto Tecnológico de Puebla, en especial en las siguientes materias: álgebra lineal, física, cálculo integral y diferencial.

Para reducir estos índices se buscó la causa raíz mediante un diagrama de interrelaciones, dicha herramienta arroja trece posibles variables que podrían ser las causas raíz del problema; finalmente esta herramienta administrativa de control de calidad nos proporcionó la causa raíz que es: los problemas emocionales y falta de vocación de las y los maestros.

La reprobación representa un riesgo significativo para lograr las metas de la eficiencia terminal y titulación dicho riesgo no sería factible eliminarlo en su totalidad por ende tendría que convertirse en un riesgo residual con estrategias para disminuirlo.

En las IES ya existen estrategias para dichos indicadores y con la finalidad de implementar dichas estrategias y brindar atención especializada, se propone crear alianzas y vínculos correspondientes en el departamento de desarrollo académico para el área de psicología.

Palabras clave—Índices de reprobación, salud mental, diagrama de interrelaciones, control de la calidad, psicología.

Introducción

La alta incidencia de reprobación en ingeniería industrial en el Instituto Tecnológico de Puebla en las materias de: álgebra lineal, física, cálculo integral y diferencial, afecta directamente a la eficiencia terminal de las y los estudiantes. De acuerdo con cifras derivadas de la autoevaluación en el programa educativo de Ingeniería Industrial desde el 2017 se ha presentado un patrón repetitivo de reprobación para las materias arriba mencionadas, estos índices llegan a alcanzar hasta el 44.35% de reprobación, tal ejemplo se ha presentado en la materia de física, que de 230 estudiantes que tomaron dicha materia 102 reprobaron el curso.

Esto afecta directamente a la eficiencia terminal de las y los estudiantes de ingeniería industrial, debido a que se presentan casos de rezago y en el peor panorama, casos de deserción universitaria.

Usando una herramienta administrativa de calidad encontramos la causa raíz, dentro de las causas que se analizaron están: malas bases matemáticas, poca atención en clases, carencia de prácticas, exceso de confianza, recursos económicos, dificultad en materias, falta de hábito de estudio, problemas emocionales, falta de vocación por parte de los profesores, malas técnicas de aprendizaje, tareas complejas con poco tiempo de entrega, temas con escasa claridad y falta de material en laboratorios.

Aplicando la metodología del diagrama de interrelaciones nos arrojó que los problemas emocionales y la falta de vocación por parte de las maestras y maestros son las causas que impactan directamente en los índices de reprobación, se propone crear una sólida cartera de vínculos con universidades y dependencias del área de la psicología, en donde sea un beneficio para ambas partes interesadas, para que estas puedan fungir proporcionando la atención especializada y seguimiento a los casos detectados sin descartar otras estrategias que pueden favorecer la eficiencia terminal como becas, asesorías, tutorías, programas de emprendimiento, etc.

Descripción del método

Dentro de los sistemas de gestión de la calidad existen diversas herramientas, ya sean administrativas o estadísticas, el método que utilizamos para la detección del problema fue el diagrama de interrelaciones, este sirve para detectar la causa raíz de un problema mediante un proceso cualitativo, que para fines explicativos este se compone de 5 fases.

La primera fase consta de detectar el problema, en dicha fase es importante acotar el problema el cual se quiere hallar la causa raíz.

¹Gamaliel Rivera Romero es estudiante de ingeniería industrial en el Instituto Tecnológico de Puebla. gamalielr99@gmail.com (autor correspondiente)

² La Dra. María Eugenia Ruano Mendoza, docente de asignatura del Instituto Tecnológico de Puebla.

³ La M.C. Imelda Vega Platas, Profesora de tiempo completo y Presidente de Academia de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Puebla.

⁴ La M. C Miriam Guadalupe Durán Méndez, profesora de horas de asignatura del Instituto Tecnológico de Puebla

⁵ La M.A Mariana Fernández Garcilazo jefa del departamento de Planeación, Programación y Presupuestación.

Segunda fase, se reúnen las partes interesadas, en este caso es importante que en dicha reunión exista la opinión de las partes involucradas, por ejemplo, en nuestro método fue necesario la presencia de las maestras y los maestros, así como las alumnas y los alumnos, para realizar una lluvia de ideas en donde surjan las posibles causas potenciales y acotarlas.

1. Malas bases matemáticas	2. Poca atención en clases
3. Carencia de prácticas	4. Exceso de confianza
5. Recursos económicos	6. Dificultad en materias
7. Falta de habito de estudio	8. Problemas emocionales
9. Falta de vocación por parte de los maestros	10. Malas técnicas de aprendizaje
11. Tareas complejas con poco tiempo de entrega	12. Temas con escaza claridad
13. Falta de material en laboratorios	

Cuadro 1. Lluvia de ideas de las causas raíz que provocan el problema principal.

Tercera fase, cuando se tengan los problemas que podrían ser la causa raíz será necesario darle un formato donde estos se les asigne un número y se representen de forma como la de un mapa mental. En donde las posibles causas raíces irán ordenadas en sentido horario y el problema principal estará en medio.

Cuarta fase, se irán interrelacionando los motivos en orden de las manecillas del reloj, por ejemplo, en nuestro diagrama de interrelaciones iniciaremos con “malas bases matemáticas”, para facilitar el método podemos utilizar la siguiente técnica:

“¿Las bases matemáticas provocan poca atención en clases?” Y de esta manera ir haciendo la interrelación con todas las demás 12 posibles causas raíz, en dado caso que, si sea motivo de causar ese problema, se irán conectando con las causas que se consideren que haya relación, es importante mencionar que no se permiten que en una posible causa raíz haya una doble conexión es decir solo se marcan las flechas de un solo sentido (causa-efecto).

El problema que más salidas (flechas que salen) tenga, será nuestra causa raíz y la causa donde tenga más entradas tenga será el efecto que al aplicar las acciones correctivas tenga más impacto.

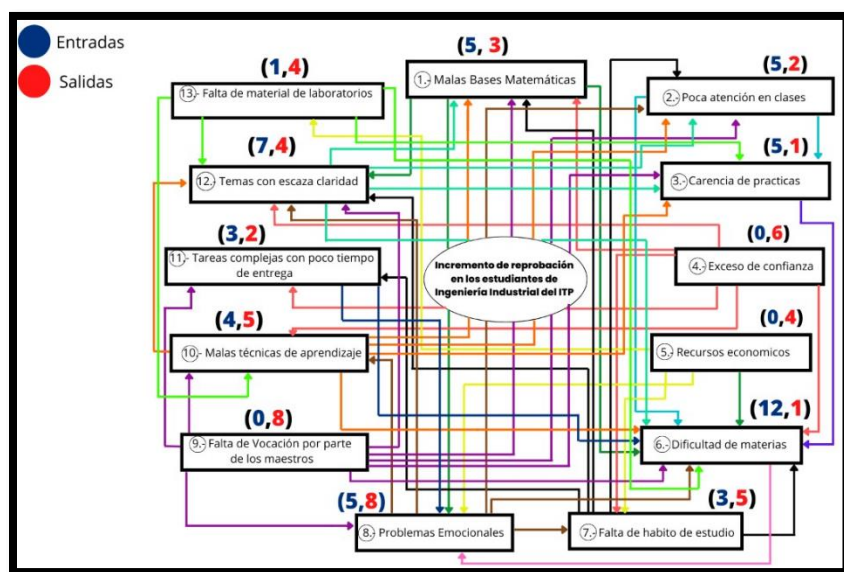


Imagen 1. Diagrama de interrelaciones final

Para interpretar dichos resultados del diagrama de interrelaciones es necesario contar las salidas y las entradas, donde la causa que tenga más salidas será la causa raíz, y la causa que tenga más entradas será el efecto en donde se podrá monitorear el cambio.

En nuestro caso tenemos dos causas raíz, la primera: los problemas emocionales y la segunda: falta de vocación por parte de los maestros. La causa donde cuenta con un mayor número de entradas es: dificultad de materias, lo cual es muy coherente porque dicho efecto disminuirá sólidamente una vez aplicando mejoras, lo que significa que, si aplicamos las herramientas necesarias para disminuir los problemas emocionales en las y los estudiantes, se les facilitará dichas materias difíciles y por ende reducirá exponencialmente el índice de reprobación.

Conclusiones

Esta herramienta nos arrojó dos potenciales causas raíz, pero debido al impacto y beneficios colaterales de una correcta aplicación de mejora referente la causa raíz de: problemas emocionales, es evidente que tendrá más trasfondo, porque esta mejora no solo tendrá un impacto positivo en la vida académica de las y los estudiantes, esto tendrá trasfondo más allá, de acuerdo con el Instituto Mexicano del Seguro Social, los beneficios de la salud mental son: buena salud física, rápida recuperación de enfermedades físicas, mejor calidad de vida en los individuos, relaciones de calidad con las personas del entorno y estado de bienestar constante y proyectos para el futuro. Es importante hacer hincapié en los beneficios de la salud mental porque de acuerdo con Instituto Tecnológico de Puebla como parte de los 7 atributos de egreso de ingeniería industrial:

1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería en las organizaciones aplicando los principios de ingeniería, ciencias, matemáticas, productividad y competitividad.
2. Aplicar, analizar, sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades específicas en los diversos procesos de las organizaciones.
3. Desarrollar y conducir experimentación adecuada a analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones mediante estrategias, modelos matemáticos y métodos estadísticos para la toma de decisiones.
4. Comunicarse efectivamente con diferentes audiencias y desarrollar habilidades blandas para mejorar continuamente sistemas de producción y servicios.
5. Reconocer sus responsabilidades éticas y profesionales en situaciones relevantes para la ingeniería y realizar juicios informados que deben considerar el impacto de las soluciones de ingeniería en los contextos global, económico, social, seguridad, ambiental, legal y tecnológico.
6. Reconocer la necesidad permanente de conocimiento adicional y tener la habilidad para localizar, evaluar, integrar y aplicar este conocimiento adecuadamente considerando las necesidades en su entorno que permitan actualizar y mejorar su desempeño.
7. Trabajar efectivamente en equipos que establecen metas, planean tareas, cumplen fechas límites y analizan riesgos e incertidumbre para el logro de actividades, proyectos, procesos, sistemas de gestión y planeación estratégica.

El beneficio de abordar el tema de la salud mental tendrá impactos bilaterales, como son: reducir los índices de reprobación, tendrá un impacto positivo en la vida de las y los estudiantes fuera del instituto y para el cumplimiento de los atributos de egreso.

Actualmente las IES cuentan con programas y técnicas donde se aborda estos temas, se propone crear alianzas con universidades del área de psicológica, así como con dependencias gubernamentales.

El crear convenios con las universidades del área de la psicología, es con la finalidad de implementar programas donde las y los estudiantes de psicología que realicen su servicio social o prácticas profesionales, lo lleven a cabo en la comunidad de Instituto Tecnológico de Puebla referente a las fases de un tratamiento psicoterapéutico, de esta manera se beneficiaría ambas partes interesadas.

Referente a tener alianzas con dependencias gubernamentales con finalidad de los casos donde se necesite la suscripción de medicamentos o de tratamiento psiquiátrico y estas sean las encargadas de llevar los casos correspondientes.

Sin lugar a duda, la inteligencia emocional es un factor clave para mejorar el desempeño académico de las y los estudiantes, así como de las y los egresados.

Bibliografía

Instituto Mexicano del Seguro Social [Instituto Mexicano del Seguro Social]. (2021, 6 febrero). *Salud Mental. Acercando el IMSS al ciudadano*. Recuperado 6 de febrero de 2023, de <https://www.imss.gob.mx/salud-en-linea/salud-mental>
Vega Platas, M. C. (2022, 30 diciembre). *Análisis de reprobación*. Instituto Tecnológico de Puebla.

Diseño y Construcción de Cansat Meteorito

M.I. María Guadalupe Araceli Rosas Paleta¹, M.I. Karina Rosas Paleta¹, Ing. Josué Olivares Ramírez¹, Carlos Enrique Flores Vázquez¹, Xiomara Ivett Hermitaño Martínez¹, Briane Isaac Rivera Escalona¹, Samuel Cabañas Blázquez¹, Josué Aguilar Martínez¹

Resumen—El uso de los conocimientos de la electrónica aplicado a la adquisición de datos ha permitido su uso en diferentes áreas del conocimiento. En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un Cansat, es una forma de control para entender cómo se comporta el medio ambiente en las variables de temperatura, humedad, altura y la captura de imágenes de la geografía del lugar. La recolección de los datos se utilizará para controlar un invernadero de nivel básico. El tamaño de éste instrumento es semejante al de una lata de gaseosa. Para obtener los datos se hace uso de una tarjeta como ESP32 y se emplea el sistema de comunicación Lora permitirá obtener los datos en tiempo real.

Palabras clave—Cansat, Transmisión de datos, temperatura, humedad, estación terrena, satélite.

Introducción

Las agencias espaciales definen a los satélites Cansat como un conjunto de sistemas electrónicos que simulan las funciones de un satélite de tamaño real, integrado dentro de un volumen y forma de una lata del tamaño de una soda. Entre las funciones que pueden desempeñar estos aparatos (por ejemplo, realizar mediciones meteorológicas a grandes alturas), estos mini-satélites suelen ser utilizados como herramienta didáctica para que estudiantes, desarrollen y prueben sus propios conocimientos y diseños.

Los satélites que existen dentro del planeta tierra son complejos en su mayoría, pero de ahí parte el interés que se presenta pues cada satélite presenta una forma diferente en su complejidad para la transmisión y creación del mismo. El Cansat es un sistema de carácter experimental y práctico, orientado al cumplimiento de tareas asociadas a vuelo suborbital atmosférico de baja altitud. Su desarrollo implica la integración de diferentes aspectos de tipo estructural, mecánico, electrónico y de software. [1] A un nivel universitario, es usado en programas de ingeniería para darle a los estudiantes un acercamiento al diseño y desarrollo de una misión espacial (Universidad Nacional Autónoma de México, s. f.). Este equipo comparte el interés en el desarrollo de código y aplicación para lograr un prototipo el cual pueda cumplir con una misión.

Descripción del Método

Misión

Que el Cansat pueda realizar mediciones ambientales, de temperatura, humedad, altura y captura de la imagen geográfica. Transmitir los datos y recibirlos a una estación terrestre el cual capturarán los datos del mismo y retransmitirá los datos de un laboratorio distancia los cuales se usarán para la toma de control de un invernadero básico.

Objetivos

Realizar la mediación de las variables de la misión en tiempo real. Transmitir los datos y recibirlos para análisis y captura de los mismos, además tener una buena conexión entre la estación y el satélite

Objetivos secundarios

Telemetría de temperatura, humedad y altura.

Aterrizaje del Cansat sin daño.

Recuperar el Cansat

LoRa²

Es una tecnología inalámbrica (al igual que WiFi, Bluetooth, LTE, SigFox o Zigbee) que emplea un tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech, una importante empresa fabricante de chips de radio. La tecnología de modulación se denomina Chirp Spread Spectrum (o CSS) y se emplea en comunicaciones militares y espaciales desde hace décadas.

¹M.I Karina Rosas Paleta Profesor de Ingeniería Electrónica TECNM Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla.

Karina.Rosas@puebla.tecnm.mx

²[Semtech LoRa Technology Overview | Semtech](#)

³[Programa Espacial Universitario | Descripción CANSAT \(unam.mx\)](#)

Cansat³

Es un dispositivo electromecánico cuyo principal objetivo es simular los componentes de un satélite real; como su nombre lo indica, sus elementos están integrados dentro de un volumen y una geometría de dimensiones aproximadas a las de una lata de refresco. Es importante aclarar que hasta ahora, ningún Satélite Enlatado ha sido puesto en órbita, y sus misiones consisten en lanzamientos desde alturas de algunos cientos de metros a algunas decenas de kilómetros, apoyados por cohetes, globos o vehículos aéreos no tripulados (VANT), para después ser puestos en funcionamiento durante su caída, ejecutando en este momento su misión.

Planteamiento del problema

Diseñar y construir un Cansat con las siguientes condiciones de operatividad, funcionalidad y restricción. Para la primera condición se considera la transmisión de datos a una estación terrena, un alcance mayor a 100 metros de altura y el uso del diseño de un paracaídas que permita la recuperación del mismo. Para la funcionalidad se considera la medición de condiciones ambientales, registrar imágenes, capacidad de adaptar sensores para el control electrónico y todo debe estar medido en tiempo real. Las restricciones se limitan al tamaño el cual no debe ser mayor a una lata de refresco con capacidad de 335 ml, que los aditamentos que se utilicen para obtener el control debe estar dentro del área de trabajo con un peso máximo de 500 gramos y mostrar el uso de una interfaz entendible para su monitoreo. Todo lo anterior debe cumplir con la recuperación de los datos de un laboratorio a distancia y que sean recibidos a una estación sin pérdida de comunicación para posteriormente utilizarlos en un invernadero de nivel básico. En la figura 1 se muestra las fases que el Cansat realiza. En la primera fases se presenta la preparación del Cansat para su lanzamiento, la segunda fase consiste en alcanzar la altura máxima, en la tercera fase, una vez alcanzada la altura se deberá abrir el paracaídas, para comenzar el descenso y en la fase final se debe recuperar el proyecto.



Figura 1. Presenta las fases del proyecto denominado Cansat.

Para el diseño del paracaídas se utiliza la ecuación 1 en el entendido de un descenso en una atmosfera uniforme, donde se determina que la fuerza es directamente proporcional al producto de la masa por la aceleración.

$$\sum \vec{F} = ma \quad \text{ecuación 1}$$

Dónde: F= Fuerza
m=masa
a=aceleración

Para el diseño del paracaídas se debe considerar que este debe soportar su propio peso. Además, el empuje del aire se considera despreciable ya que la densidad del aire es mucho menor que la del cuerpo. Por otra parte, se considera que el rozamiento del paracaídas es casi nulo. Las ecuaciones del movimiento son las siguientes denotadas como ecuación 2, ecuación 3 y ecuación 4.

$$a = -g \quad \text{ecuación 2}$$

Donde
 $a = \text{aceleración}$
 $g = \text{gravedad}$

$$v = -gt \quad \text{ecuación 3}$$

Donde
 $v = \text{velocidad}$
 $g = \text{gravedad}$
 $t = \text{tiempo}$

$$x = x_0 - \frac{gt^2}{2} \quad \text{ecuación 4}$$

Donde

x = posición
 x_0 = posición inicial
 g = gravedad
 t = tiempo

Cuando se abre el paracaídas se somete a la acción de su peso y de una fuerza de rozamiento proporcional al cuadrado de la velocidad. Como se observa en la ecuación 5

$$ma = -mg + kv^2 \quad \text{ecuación 5}$$

Donde

m = masa
 a = aceleración
 g = gravedad
 k = constante de proporcionalidad
 v = velocidad

Como el paracaídas es menos aerodinámico que una esfera, pero más aerodinámico que un disco de frente, se considera el valor de la constante igual 0.8. Cuando el paracaídas se encuentre en caída libre abre, y se reduce bruscamente su velocidad hasta alcanzar una velocidad límite constante v_l , que se obtiene cuando el peso es igual a la fuerza de rozamiento, es decir, cuando la aceleración es cero. Esto se presenta en la ecuación 6.

$$-mg + kv^2 = 0 \quad \text{ecuación 6}$$

Resolviendo la ecuación diferencial la velocidad al cuadrado se presenta en la ecuación 7

$$v^2 = v_l^2 + (v_0^2 - v_l^2)e^{-\frac{2g}{v_l^2}(x_0 - x)} \quad \text{ecuación 7}$$

Hipótesis

Para el desarrollo e implementación IROBOT se programa en lenguaje ensamblador y se crearan 2 rutinas una en automático y otra rutina en manual para por poder dar mantenimiento al mismo y que pueda ser usado para prácticas de robótica

Procedimiento

Construcción del prototipo

En el desarrollo del Cansat Meteorito se tiene 3 etapas; proceso de ensamble, diseño de electrónico y programación

Etapa 1. Proceso de ensamblaje

Para el diseño se utilizó el programa CATIA® (**computer-aided three dimensional interactive application**) es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos. El prototipo elegido contiene las siguientes dimensiones: la altura máxima es 123milímetros y el diámetro de 66 milímetros. Además, se usaron redondeos de las cavidades para evitar fracturas y ventanas en las tapas para evitar rupturas se puede apreciar en la figura 2. Este diseño se eligió con la intención de evitar rupturas, se redujo el peso aproximadamente en un 32% y presenta accesibilidad y confort al momento de poder manipular el sistema para colocar la parte electrónica dentro del mismo. Una vez terminado el prototipo se utilizó Solid Works® para la simulación.

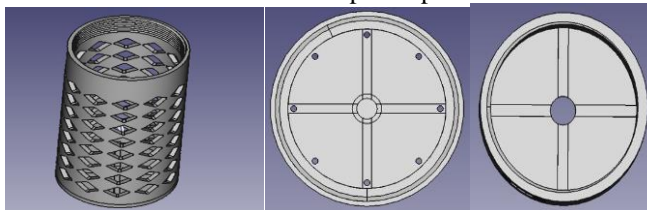


Figura 2. Diseño de impresión para el Cansat meteorito mediante CATIA®

Etapa 2. Desarrollo electrónico

Se utilizaron los siguientes componentes electrónicos descritos en el tabla 1 y los diagramas de conexión se muestran en la figura 3.

De manera específica el sensor GPS NEO-6M-0-001 se elige porque permite conocer la ubicación del Cansat y realiza las mediciones de las variables de altitud, longitud y latitud. Se hace uso del sensor de Humedad DTH22y se utiliza la librería DHT. El sensor para las mediciones de presión atmosférica, temperatura y altitud.

Tabla 1. Componentes de hardware para la construcción del cansar meteorito

Requerimientos del sistema	Requerimientos del Subsistema	Metas
Medir la temperatura	Utilización del sensor DTH11	Medir y representar la temperatura en una gráfica
Medir la humedad Relativa	Utilización del sensor DTH11	Medir y representar la humedad en una gráfica
Medir Altitud	GPS NEO-6M-0- 001	Medir y representar en una gráfica
Medir Longitud	GPS NEO-6M-0- 001	Medir y representar en una gráfica
Latitud	GPS NEO-6M-0- 001	Medir y representar en una gráfica
Medir el nivel de la batería	Hacer uso de una entrada analógica del microcontrolador	Medir

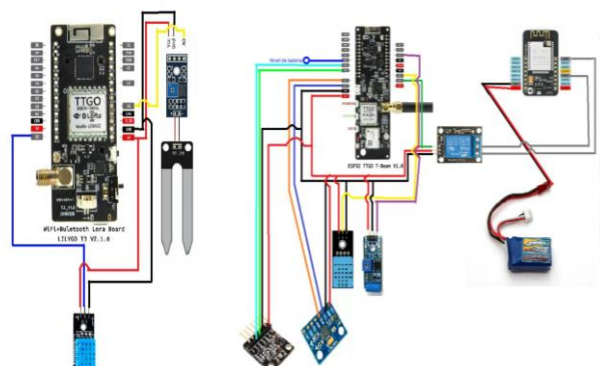
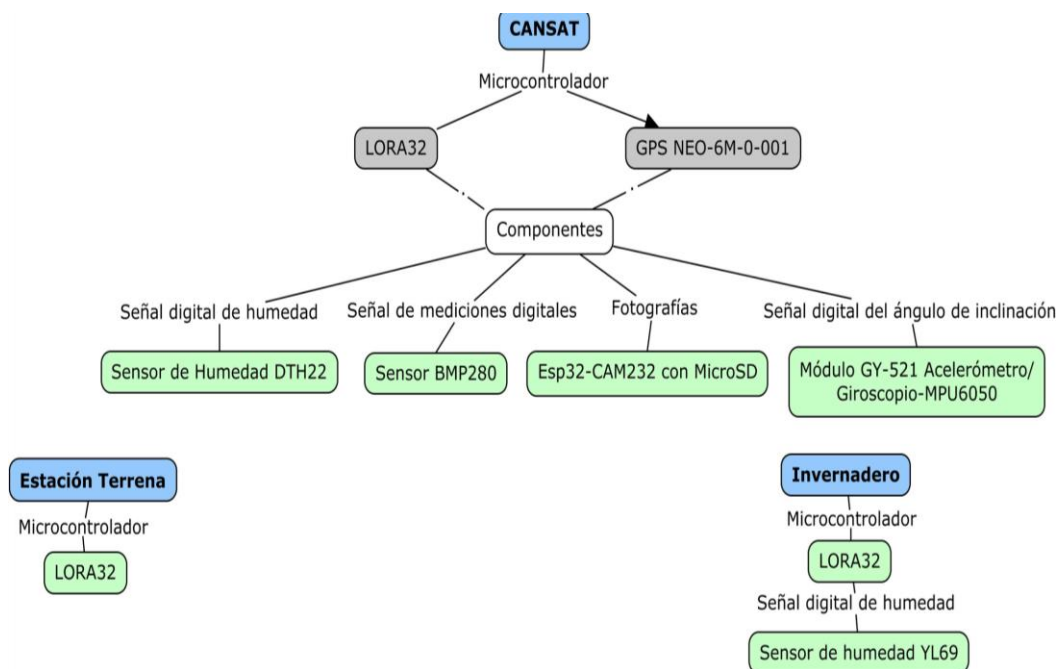


Figura 3. Conexiones para la transmisión y recepción dentro del Cansat meteorito.

Etapa 3. Programación

Se programa usando visual code y lenguaje en c para el desarrollo del Cansat y las comunicaciones entre estación terrena e invernadero a continuación se presenta el diagrama de flujo utilizado para la programación.



Pruebas

Para probar el diseño impreso de la estructura el proyecto se dejó caer a tierra desde una altura aproximada de 8 metros. Para subir al Cansat se utilizó un dron. Esto para comprobar que la estructura impresa en 3D resistiera a

un impacto. Se realizaron 5 pruebas y se encontró que la estructura soportó todas pruebas realizadas y no se presentaron daños en ninguna parte del mismo. En la figura 4 se observa como el Cansat descende con su paracaídas.



Figura 4. Se muestra como descende el Cansat en el periodo de pruebas

Para caracterizar y validar el Cansat construido, se realizaron distintas pruebas a nivel funcional. En la figura 5 se observa la obtención de resultados para la transmisión y recepción de datos de forma correcta.

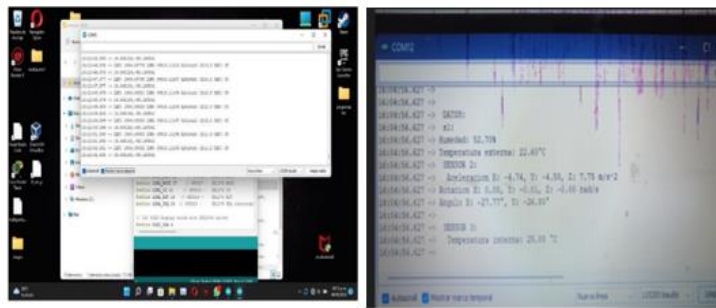


Figura 5. Prueba de transmisión y recepción de datos

En la figura 6 y 7 se presenta el prototipo final con su peso real. De forma particular en la figura 7 se observa el invernadero y la estación terrena utilizada para el proyecto.

Componente	Peso en gramos
Sensor de humedad DHT11	8.0
Raspberry Pi 1.2	44.0
Estructura	12.3
MicroSD	4.4
Esp32Cam232	10.9
GPS NEO-6M-0-001	16.6
Convertidor USB Serial a TTL	3.4
Lora32/antena/pila	66.7
Cables	8.5
Switch	0.7
Acelerómetro g5	1.5
Paracaídas	96.7
Tira de pines	0.8
Led's	7.0
Total	281

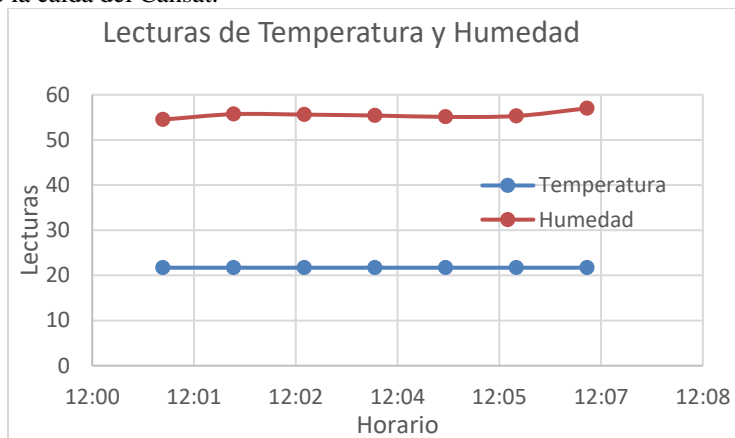
Figura 6 y Cuadro 2. Cansat Meteorito final y peso total



Figura 7. Invernadero lado izquierdo y del lado derecho estación terrena

En cuanto a la telemetría, esta pudo enviar datos de tiempo, altitud y la medición de las variables atmosféricas cada 0,1 segundos en las pruebas mencionadas. Asimismo, la base terrena tomaba dichos datos y los graficaba en tiempo real, indicando el estado de los sensores y del Cansat en general.

En la gráfica 1 se pueden observar los resultados de las lecturas realizadas en tiempo real de la temperatura y humedad. La temperatura siempre presenta una función lineal color azul y para el caso de la humedad se observa una ligera variación durante la caída del Cansat.



Gráfica 1. Mediciones de Temperatura y humedad.

Comentarios Finales

Este proyecto se realizó en conjunto de estudiantes del Departamento de Ingeniería en Electrónica y el Departamento de Ciencias Básicas del Instituto Tecnológico de Puebla para el 6^o Concurso Nacional de Picos-Satélites educativos Cansat edición de 2022. Esto permitió que todos los involucrados desarrollaran su creatividad para futuros proyectos, así como la capacidad para resolver problemas y para medir sus conocimientos como estudiantes de ingeniería. Se espera mejorar este prototipo con la intención de seguir participando en otros eventos.

Resumen de resultados

A pesar de la dificultad de las pruebas en campo se logró la comunicación ininterrumpida entre el laboratorio, Cansat y la base terrena. Al cumplirse la misión encargada para el proyecto.

Conclusiones

El proyecto de Cansat permitió abarcar distintas áreas en la rama de la electrónica con la finalidad de llegar a un solo resultado. Se utilizaron los conceptos de telemetría para conectar las 3 estaciones (2 terrenas y un satélite) y poder hacer comunicación entre los tres dispositivos, rescatando datos de medición de 3 distintos sensores y mandarlas a las dos estaciones restantes para poder aprovechar esa información para poder monitorear un invernadero. La medición de los distintos datos se llevó a cabo con modulo GPS para la obtención de los datos geográficos, el sensor de humedad y temperatura, y por último un giroscopio para medir la inclinación y presión, datos necesarios que fueron transmitidos por la comunicación LORA, misma que permitió la conexión entre varios dispositivos a larga distancia.

Referencias bibliográficas

- [1] Agencia Espacial Mexicana. (2016). Consultado el 29 de septiembre de 2016, <http://www.educacionespacial.aem.gob.mx/cansat.html>
- [2] Cho, M., Masui, H., y Hatamura. T. (2014). Satellite Testing Tutorial: Mechanical Test. Laboratory of Space Environment Interaction Engineering.Jap on: Kyushu Institute of Technology.
- [3] Coppens, J. (2018). Personal pages/Páginas personales - John Coppens. Jcoppens.com. Recuperado el 29 de septiembre de 2022, a partir de <http://jcoppens.com/>
- [4] Icarus-Very Low Power Satellite-Based IoT. Krondorf, Marco; Bittner, Steffen; Plettmeier, Dirk; Knopp, Andreas; Wikelski, Martin. *Sensors (Basel)* ; 22(17)2022 Aug 23. Artículo en Inglés | MEDLINE | ID: mdl-36080787
- [5] NASA (2014). SmallSpacecraftTechnologyStateoftheArt. National Aeronautics and Space Administration, California. Technical TP2014-216648. Disponible en <http://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/smallspacecrafttechnologystateoftheart2015tagged.pdf>

Construcción y Programación del Robot Irobot con Banda Transportadora Implementado en Microcontroladores

M.I Karina Rosas Paleta ¹, M.I María Guadalupe Araceli Rosas Paleta ²,
Carolina Magali Rosas Paleta ³

Resumen— La construcción de este robot desea mostrar la importancia de conocer la arquitectura de los PIC utilizados para aplicaciones de retroalimentación por caracterización de control, la conversión analógica a digital, así como controlar las posiciones deseadas y las posiciones de inicio para caracterizar los movimientos de este usando motores de corriente directa. Con la intención de que el prototipo se utilice para la implementación de prácticas e investigación para la docencia en el área de electrónica. La construcción del robot (Irobot) utiliza una estructura abierta. El robot cuenta con 4 grados de libertad y una banda transportadora la cual se mueve en dos direcciones mediante un detector a partir de la implementación del PIC (18F877A) y el PIC (12F675) como detector de un objeto para transportarla. La programación utiliza conocimientos de ensamblador aplicado a los microcontroladores y la creación de PCB en el software PROTEUS para el control del sistema.

Palabras clave—Ensamblador, Robot de 4 grados de libertad, Banda transportadora, microcontrolador

Introducción

Los robots industriales son maquinas automatizadas muy complejas y la construcción de estas puede generar un alto costo de fabricación ya que depende mucho de las características técnicas para realizar tareas específicas por ejemplo de paletización.

El usar una un microcontrolador como unidad central de proceso para la construcción del robot con el nombre de Irobot es una solución muy económica a bajo costo.

El Irobot cuenta con LCD, puente H Transistor de potencia, potenciómetros para cada articulación y sensor infrarrojo para la banda transportadora. Como resultado de la construcción del prototipo se muestra el programa fuente donde se declara toda la rutina de macros y registros utilizados para el desarrollo de los movimientos del Irobot. Además, los alumnos pueden observar que la banda transportadora funciona sin ningún problema, y se muestra cómo se crean las tarjetas tipo PCB que controlan el LCD, los motores, la banda transportadora y la tarjeta principal para generar el ciclo.

Marco teórico

Objetivo general

Construir y programar un brazo mecánico de 4 grados de libertad con su banda transportadora programado en lenguaje de ensamblador para prácticas de microcontroladores y robótica. Para que los alumnos comprendan la programación de los microcontroladores aplicada aun brazo robot y banda transportadora

Objetivos específicos

Programar la rutina de brazo Irobot caracterizando los movimientos
Creación de PCB para el microcontrolador, lcd, motores, banda

Programar la rutina de la banda transportadora
Pruebas del prototipo

Planteamiento del problema

¹M.I Karina Rosas Paleta Profesor de Ingeniería Electrónica TECNM Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla.
Karina.Rosas@puebla.tecnm.mx

² M.I María Guadalupe Araceli Rosas Paleta Profesor de Ingeniería Química TECNM Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla.
Maria.Rosas@puebla.tecnm.mx

³ Carolina Magali Rosas Paleta estudiante de Facultad de Ingeniera en Ciencias de la Computación BUAP, Puebla
marriska@gmail.com

⁴Control de movimiento de robots manipuladores Rafael Kelly, Víctor Santibáñez pagina 23

Consiste en utilizar el IROBOT de manera sencilla y observar las rutinas de programación en forma automática y manual para el sistema de transporte de cajas pequeñas, utilizando el microcontrolador 18F877A para el Irobot y el microcontrolador 12f675 para controlar la banda transportadora utilizando macros, interrupciones externas,

Hipótesis

Para el desarrollo e implementación IROBOT se programa en lenguaje ensamblador y se crearan 2 rutinas una en automático y otra rutina en manual para por poder dar mantenimiento al mismo y que pueda ser usado para practicas de robótica

Robótica

De definición pragmática de robot manipulador: mecánicamente, un robot manipulador simplemente manipulador es un brazo mecánico articulado formado de eslabones conectados a través de uniones o articulaciones que permiten un movimiento relativo entre dos eslabones consecutivos". El movimiento de cada articulación puede ser traslacional, rotacional o una combinación de ambos.[1]

Procedimiento

Construcción del prototipo

En el desarrollo del Irobot se tiene 3 etapas; proceso de ensamble, diseño de PCB, programación

Proceso de ensamblaje

Las piezas se reutilizaron del robot marca Steren K-680 brazo mecánico y se procedió a modificar la estructura a un brazo de 4 grados de libertad se muestra en la Figura 1, en la Figura 2 se aprecia la banda transportadora creada y en el cuadro 1 algunas medidas y pesos de Irobot



Figura 1. En la imagen del lado Izquierdo modelo K-680 brazo mecánico y del lado derecho IROBOT



Figura 2. En la imagen de la banda transportadora y del lado derecho IROBOT

Algunas medidas del brazo	cm
Longitud centro al hombro	9.5
eslabón hombro/codo	9
eslabón codo/muñeca	11
Largo de pinza	9

Cuadro 1. Algunas medidas del brazo prototipo físico

Actuadores	peso
motores	9.5gr
Piza c/motor	90gr

Cuadro 2. Algunos pesos del brazo prototipo físico

Desarrollo electrónico

En el software Proteus se realizaron los PCB de la practica electrónica del IROBOT del equipo Figura 3

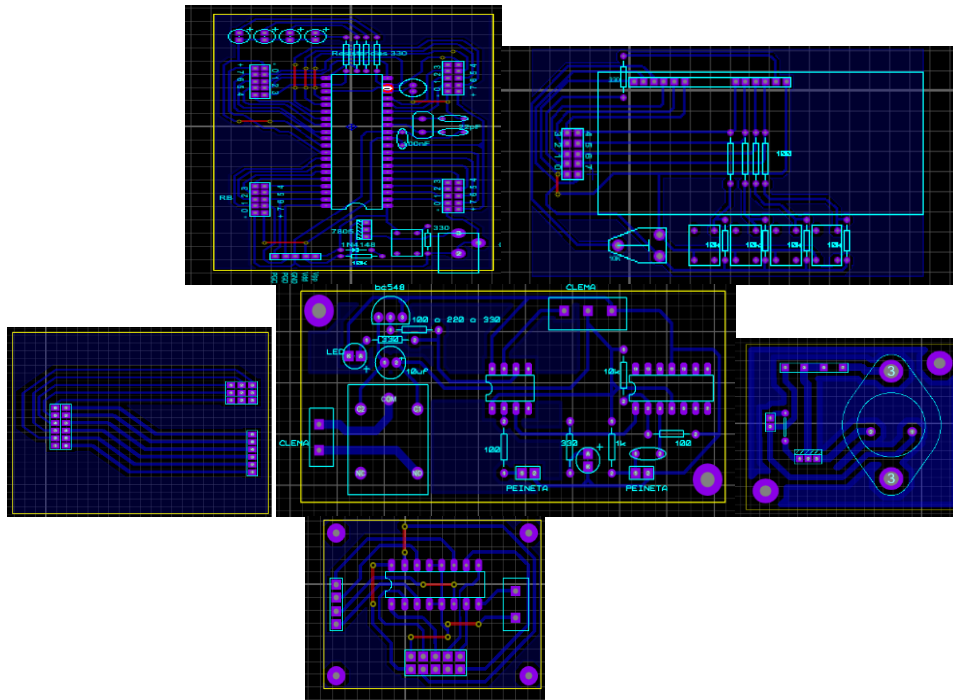


Figura 3. Diagrama de Tarjetas

Programación

La programación se desarrollo en lenguaje ensamblador usando macros, y configuraciones de registros Los cuales cumplieron con los siguientes esquemas Figura 4.

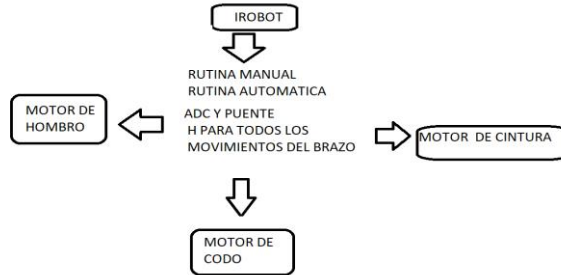


Figura 4. Diagrama de Tarjetas

```

000001 list p=12f675 ; list directive to define processor
000002 #include <p12f675.inc> ; processor specific variable definitions
000003 LIST
000004 ; P12F675.INC Standard Header File, Version 1.04 Microchip Technology, Inc.
000005 LIST
000006 errorlevel -302 ; suppress message 302 from list file
000007 __CONFIG _CP_OFF & _CPD_OFF & _BODEN_OFF & _MCLR_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _INTRC_OSC_NOCL
000008 ROUT
000009 CBLOCK 0x20
000010 banderas ; banderas que se utilizaran en el programa
000011 contador ; determina el tiempo del periodo bajo de la señal del e
000012 misor
000013 contador_de_emisiones ; determina el numero de emisiones por testeo del sensor
000014 duty ; registro que determina el duty de la pwm
000015 W_TEMP
000016 STATUS_TEMP
000017 conta
000018 ENDC
000019
000020 #define emisor GPIO,5
000021 #define receptor GPIO,4
000022 #define señal_out GPIO,0
000023 #define pin_pwm GPIO,1
000024 #define flag_de_deteccion banderas,0
000025 #define flag_estaba_detenida banderas,1
000026
000027
000028 ORG 0
000029 GOTO INICIO
000030 ORG 4
000031 goto inicio_interrupcion
000032 ORG 5
000033
000034

```

Figura 5. Programa de la banda transportadora

```

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE
00001 LIST P16F877A ; EL TIPO DE PIC QUE USAREMOS
00002 INCLUDE<P16F877A.INC> ; INCLUIAMOS LA LIBRERIA DE DEFINICIONES DEL PIC
00001 LIST
00002 ; P16F877A.INC Standard Header File, Version 1.00 Microchip Technology, Inc.
00400 LIST
00003
00004 __config _CP_OFF & _FWRTE_ON & _MDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC & _CPD_OFF
00005
00006 CRLOCK 0x20 ; Definimos una lista de "variables" ubicadas apartir de la posicion 0x2
0 de la memoria RAM
00007 posicion_actual_hombro
00008 posicion_deseada_hombro
00009 posicion_actual_codo
00010 posicion_deseada_codo
00011 posicion_actual_cintura
00012 posicion_deseada_cintura
00013 posicion_actual_pinza
00014 posicion_deseada_pinza
00015 banderas_estabilidad
00016 banderas2
00017 ENDC
00018
00019 banco0 macro
00020 bcf STATUS,RP0
00021 bcf STATUS,RP1
00022 endm
00023 banco1 macro
00024 bcf STATUS,RP0
00025 bcf STATUS,RP1
00026 endm
00027
00028 ; Definiciones -----
00029 #define enable_hombro PORTD,1
00030 #define enable_codo PORTD,2
00031 #define hombro_a PORTD,0
00032 #define hombro_b PORTD,3
00033 #define codo_a PORTD,7
00034 #define codo_b PORTD,4
00035
00036 #define enable_cintura PORTC,1
00037 #define enable_pinza PORTC,2
00038 #define cintura_a PORTC,0
    
```

Figura 6. Programa del Irobot

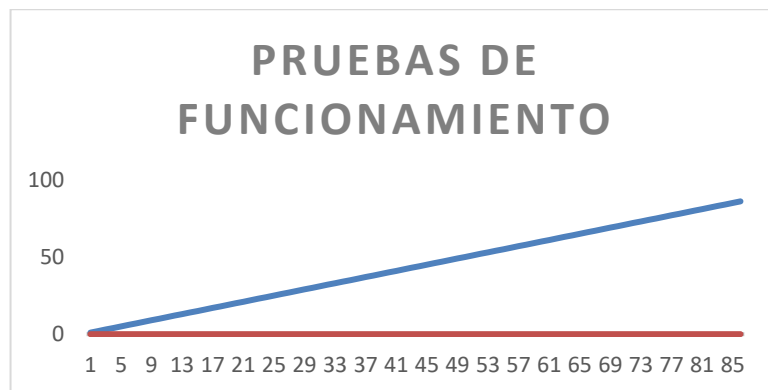
Modos de operación

El IROBOT tiene dos modos de operación rutina manual y rutina en automático

Comentarios Finales

Resultados

Se realizaron pruebas del prototipo haciendo 85 pruebas iniciales las cuales se graficaron revisando si todo funcionaba correctamente Grafica 1



Grafica 1. Irobot funcionando

Conclusiones

Se logró obtener el IROBOT capaz de realizar las rutinas automática y manual para el paletizado obteniendo un sistema de robot y banda transportadora a bajo costo, aplicado la tecnología de programación en ensamblador y el uso del microcontrolador.

El Irobot cumplió satisfactoriamente en la programación y armado haciendo pruebas de secuencias de y la calibración de los potenciómetros analógicos para tener movimiento en las articulaciones se realizaron y se demuestran que el prototipo ayudara a las estudiantes de ingeniería electrónica a realizar programaciones más enfocadas a la robótica usando microcontroladores

Referencias

1. Control de robot manipuladores Rafael Kelly, Víctor Santibáñez Pearson Prentice Hall pag 8
2. Paper robot: a design activity to increase beginner's prototyping confidence with microcontrollers Santhi Analytis¹, Joel Sadler¹ and Mark R. Cutkosky¹ ¹Department of Mechanical Engineering, Stanford University, Stanford, California, USA

Diseño de una Prótesis Cementada de Cadera

Ing. Itzel Salgado López¹, M.C. Karina Hernández Romero²,
Dra. Ana Beatriz Martínez Valencia³, Dr. Marco Antonio Espinosa Medina⁴ y Dr. Miguel Villagómez Galindo⁵

Resumen—En el presente trabajo se planteó un análisis biomecánico para analizar el efecto sobre la fijación y acoplamiento de un modelo de prótesis en el hueso fémur mediante un cemento óseo. Para ello se partió de un modelo de prótesis realizado previamente, al cual se le realizaron perforaciones, mediante la parametrización geométrica, con el fin de que elemento acrílico incurriera en las perforaciones y quede fija la prótesis. Esto fue realizado en la plataforma de diseño asistido llamada Onshape, del que se sugirieron 3 distintos materiales que fueron sometidos a pruebas de resistencia mecánica con cargas que generan actividades cotidianas. De los resultados von Mises arrojados se seleccionó un material de los 3 los sugeridos ya que presentó los factores de seguridad más altos para poner a prueba el diseño. Los resultados obtenidos demostraron que el material idóneo para la fabricación de este tipo de prótesis es el Ti-6Al-4V.

Palabras clave—Análisis biomecánico, diseño, elementos finitos, fémur, prótesis de cementada de cadera.

Introducción

Como todo tema, para poder estar situados en este presente, es necesario echar un vistazo a la evolución que ha tenido nuestro caso de estudio, desde los primeros surgimientos de la artroplastia total o parcial de cadera, que surgieron con la inquietud de una o más personas de encontrar una solución a los problemas recurrentes de la cadera generalmente fracturas o desgaste, el cual ha tenido un aumento considerable de las personas con este padecimiento, a lo cual propusieron la sustitución de la cadera lesionada por un elemento artificial haciendo uso de diferentes materiales (unos con mayor éxito que otros).

El dolor articular en la cadera es un síntoma prevalente y una causa significativa de limitación funcional en el adulto joven y el adulto mayor. Estudios de corte transversal en Estados Unidos han reportado la prevalencia de coxalgia hasta del 19.2 % en los pacientes adultos mayores de 65 años. Otras estimaciones han documentado que hasta el 40 % de los adultos mayores de 64 años en Inglaterra manifiestan dolor articular en cadera o rodilla secundarios a patología inflamatoria; es un síntoma detrás del cual se esconden un amplio espectro de condiciones clínicas, entre estas osteoartritis de la cadera, secuelas por deformidad congénita, secuelas de osteonecrosis, lesiones traumáticas, infecciones osteoarticulares, entre otros, por lo cual la cirugía ortopédica ha evolucionado a lo largo de los años para proveer a los pacientes mejoría clínica en términos de dolor, movilidad, discapacidad física y calidad de vida (Gaitán, 2021).

Los desarrollos de los materiales han permitido realizar diferentes combinaciones entre ellos, con el objetivo de optimizar sus comportamientos en servicio, haciendo que los diseños sean más duraderos y más confiables. Las exigencias básicas de todos los materiales utilizados en un diseño funcional son su alta estabilidad mecánica y química, no tener actividad trombogénica, carcinogénica, hemolítica o alérgica, entre otras y ser fácilmente esterilizable en un medio que no deteriore sus propiedades.

Las prótesis de cadera deben soportar los esfuerzos en actividades normales, caminar o subir escaleras, las cuales pueden superar cuatro veces el peso corporal del individuo implantado y en algunos casos 10 veces, por ejemplo, ante un tropezón. Todo supone un compromiso entre ligereza, diseño y las propiedades mecánicas de los materiales con que se fabrican las prótesis. Debido a la exigencia de dicha demanda nos orilla a buscar nuevos diseños y materiales.

Tal es el caso de la aleación Ti-6Al-4V que es ampliamente utilizada para la fabricación de prótesis osteoarticulares. Las prótesis de Ti-6Al-4V presentan como principales ventajas: baja densidad, buenas propiedades mecánicas, gran biocompatibilidad, elevada resistencia a la corrosión y a la fatiga.

Así mismo, la aleación L605 que está formada por cobalto, cromo, wolframio y níquel. Está aleación presenta una

¹ La Ing. Itzel Salgado López es Estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 1301469f@umich.mx

² La M.C. Karina Hernández Romero, es estudiante del Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. karina.hernandez@umich.mx

³ La Dra. Ana Beatriz Martínez Valencia es Profesora e Investigadora de la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. beatriz.valencia@umich.mx

⁴ El Dr. Marco Antonio Espinosa Medina es Profesor e Investigador de la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México marco.espinosa@umich.mx

⁵ El Dr. Miguel Villagómez Galindo es Profesor e Investigador de la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. miguel.villagomez@umich.mx (**autor corresponsal**)

alta resistencia a la corrosión y en los últimos años se ha utilizado en la elaboración de stent y prótesis de cadera. Por esta razón se ha considerado en el presente estudio.

Otros materiales como son los aceros con contenidos de carbono de 0.08% el AISI 316 o inferiores al 0.03% como el AISI 316L. Que es utilizado en la fabricación de placas temporales de osteosíntesis, tornillos, clavos y fijadores, además de prótesis de cadera. Este material tiene como ventaja el ser de más bajo costo que las aleaciones de Titanio.

Por medio de diferentes plataformas de diseño asistido por computadora en la nube, como lo son Onshape (Onshape Inc, Cambridge, MA); y de análisis por elementos finitos en la nube, SimScale (SimScale GmbH, München, Germany) que serán utilizados en el presente trabajo para determinar el desempeño biomecánico de una prótesis de cadera bajo condiciones de cargas asociadas a actividades cotidianas. En el cual, se comparan tres materiales metálicos para la fabricación de una prótesis personalizada a partir de imágenes médicas.

Descripción del Método

Basados en el artículo titulado “Análisis Biomecánico de una Prótesis de Cadera mediante Elementos Finitos” de Hernández-Romero et al. 2020 publicado en la revista mexicana de Ingeniería Biomédica. En el cual se recabó información del diseño de la prótesis personalizada, de un paciente anónimo con un peso de 75 kg, el cual estaba hospitalizado en el Instituto Mexicano del Seguro Social y que donó sus imágenes médicas para realizar el artículo del cuál, nos basamos en el presente trabajo. En el cual se obtuvo un modelo tridimensional del hueso fémur con dichas imágenes y mediante segmentación de cada corte tomográfico en 3DSlicer (3Dslicer.org, Boston, MA). Derivado de dicha segmentación, se conocieron las medidas del perfil del hueso que permitieron crear las geometrías del modelo de prótesis. Las geometrías se desarrollaron con curvas SPLINE a través de la plataforma de diseño en la nube llamada Onshape.

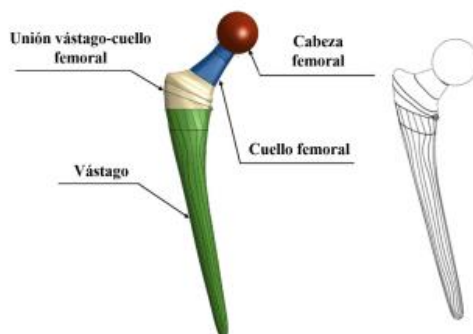


Figura 1 Tomada de Análisis Biomecánico de una Prótesis de Cadera mediante Elementos Finitos Fuente: (Hernández-Romero et al., 2020).

Debido a que la osteoporosis es uno de los problemas más frecuentes en adultos mayores, la prótesis cementada es una de las mejores opciones para estos casos, ya que el hueso se vuelve poroso y el cemento óseo ayuda a sujetar la prótesis al hueso y también no se requieren de grandes esfuerzos, ya que en su mayoría son utilizadas en adultos mayores.

En el presente trabajo se realizaron modificaciones al modelo ya obtenido como se muestra en la Figura 2, Se realizaron perforaciones en diferentes elementos de la prótesis, esto con el fin de lograr que la prótesis sea de menor peso.

Estas perforaciones también tienen el propósito de que el cemento que se pueda incursionar mejor en la prótesis y esta quede fija al hueso.

La primera perforación que se realizó fue en la unión vástago-cuello femoral de la prótesis, como se muestra en la Figura 3.

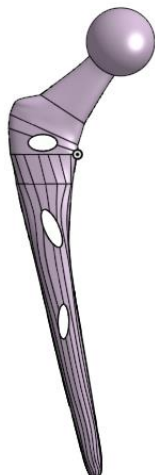


Figura 2 Prótesis modificada. Fuente: Elaboración propia.

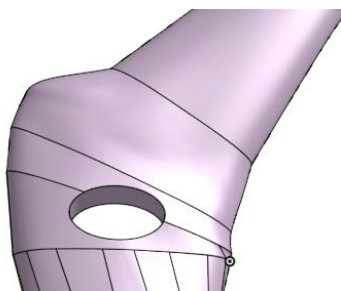


Figura 3 Perforación en la unión vástago-cuello. Fuente: Elaboración propia.

El vástago es el elemento que va injertado en el hueso fémur por medio de interferencia y es el único elemento con variación en los dos modelos de prótesis.

Análisis biomecánico

El análisis biomecánico de la prótesis creada fue realizado en SimScale, una plataforma de análisis en la nube vinculada con Onshape. Para realizar el estudio biomecánico se consideraron los siguientes tópicos:

- a) Geometría: Modelo sólido en una sola parte realizado en Onshape.
- b) Malla: La malla seleccionada a través de un análisis de sensibilidad de todos los tamaños de malla que ofrece SimScale.
- c) Material: De los materiales seleccionados para este estudio, los datos de interés son las características mecánicas de cada uno (densidad, módulo de Young, módulo de Poisson y para posteriores comparaciones el último esfuerzo a la tensión y límite elástico).
- d) Cargas: La carga principal es el peso de la persona en forma de fuerza que actúa sobre la articulación de la cadera, misma que es descompuesta en sus componentes x, y, z bajo la influencia de la realización de una actividad.
- e) Restricciones: Se fijó el vástago en su parte inferior y en la parte superior de la cabeza femoral se aplicó la carga.

Las actividades para analizar el comportamiento del modelo de prótesis, simulando actividades cotidianas son: caminar, de pie, andar en bicicleta, levantarse, subir escaleras, bajar escaleras, sentarse y, trotar (Canci, 2017). Se

realizaron 24 simulaciones en SimScale; donde 8 de ellas sólo se realizaron para la selección de mallado óptimo, las restantes corresponden a 8 condiciones de prueba para el modelo de prótesis sólido, estas a su vez realizadas con 3 materiales distintos.

Selección de mallado

Las simulaciones se realizaron con la forma tetraédrico dominante, con los tamaños de malla que van desde 31,919 hasta 186,988 de elementos con el modelo de prótesis sólido, para poder seleccionar la que aporta mayor precisión sin implicar un costo computacional alto. Se realizó un análisis de sensibilidad que consistió en evaluar la densidad del mallado, es decir el número de elementos que conforman cada una de las mallas. Posteriormente se contrastaron los resultados del esfuerzo máximo de von Mises para seleccionar la densidad que ofrece una variación en los resultados inferior al 0.01 de error y brinde el menor tiempo de cómputo. De los 8 tamaños de malla analizados se optó por la malla con 186,988 de elementos tetraédricos, 38,992 nodos y con un valor de von Mises de 3.762e8 Pa.

Materiales seleccionados para el análisis biomecánico

Los materiales seleccionados pertenecen a la familia de los biomateriales con aplicación específica para prótesis de cadera, debido a sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas que son Ti-6Al-4V, 316-L y el L-605. Se tomó como referencia los valores de las propiedades mecánicas con los cuales autores como A. Maiques Oltra (2015), R. E. Arellano Guerrero (2015), K. B. Hazlehurst (2014), O. Martel (2011), P. Losa Zapico (2018), Changning Sun (2018), entre otros, han realizado sus simulaciones de prótesis de cadera para obtener resultados equiparables.

Cargas aplicadas

Para simular las actividades cotidianas que realiza una persona, se aplicaron diferentes cargas estáticas resultantes de las fuerzas generadas por la inercia y los grupos musculares utilizados en cada una de las actividades para una persona de 75 kg (Tabla 1), para lo cual se tomaron como sistema de coordenadas local los ejes x, y, z sobre la cabeza femoral.

Actividad	Rx (N)	Ry (N)	Rz (N)
Caminar	535.7	-343.5	-1747
De pie	575.8	-120.3	-1947
Bicicleta	242	-202.5	-651.8
Levantarse	649.8	-203.7	-1428
Subir	774.1	-771	-2852
Bajar	774.1	-565.7	-2000
Sentarse	460.2	-245	-1247
Trotar	777.2	-762.7	-2845

Tabla 1 Cargas generadas de las actividades cotidianas.

Resultados y discusión

En este proyecto se compararon los resultados de los esfuerzos de Von Mises, también conocido como el esfuerzo de máxima energía de distorsión, o Maxwell Huber-Hencky-Von Mises. Según esta teoría, la cedencia del material comienza cuando la distorsión máxima o la energía de corte en el material es igual a la distorsión máxima o la energía de corte al ceder en una prueba de tensión simple Hernández-Romero et al. (2020). Se puede demostrar que, para materiales inicialmente elásticos, la energía de deformación o distorsión es proporcional al esfuerzo de von Mises (σ_{vm}), que es el que se muestra en la ecuación.

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

Donde σ_1 , σ_2 , y σ_3 son los esfuerzos principales. El criterio de von Mises alude a que el cuerpo se comporta elásticamente cuando se alcanza la resistencia de cedencia:

$$\tau_0 = (3^{1/2}) \sigma_{vm}/3$$

Tomando el criterio anterior, comparamos cada valor obtenido del máximo esfuerzo de Von Mises de cada material, de cada modelo de prótesis y de cada actividad realizada por el usuario, con respecto al valor del esfuerzo último y el límite elástico.

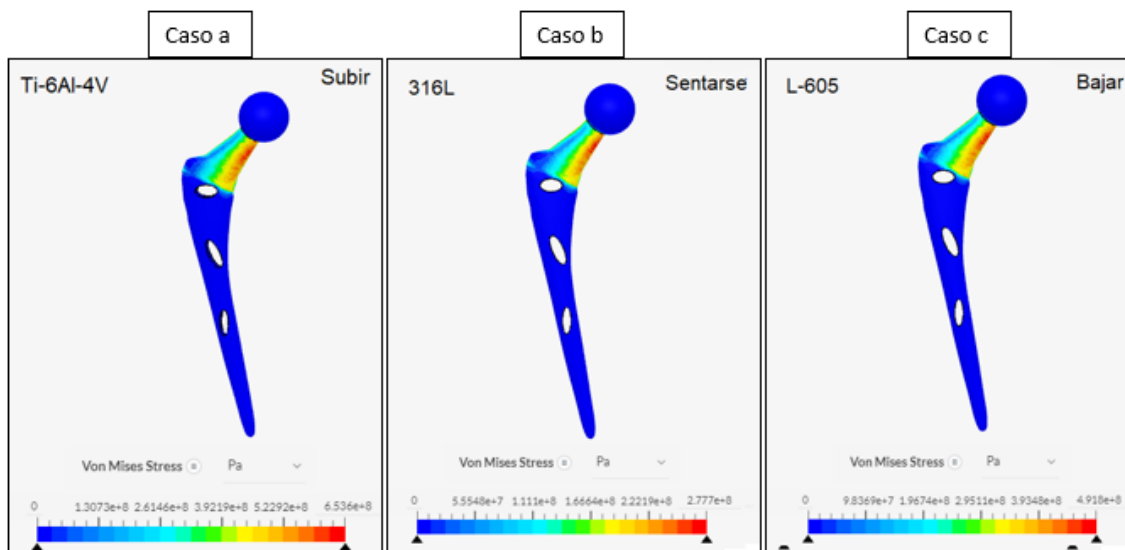


Figura 4 Prótesis sin daño estructural

Se sabe que la prótesis sufrirá deformación permanente al rebasar el límite elástico y se fracturará al rebasar el último esfuerzo a la tensión. Una vez que se realizaron las simulaciones mediante el método de elementos finitos de los 24 casos resultantes, de las combinaciones de cargas debido a las actividades físicas del sujeto objeto de estudio y los materiales propuestos para la prótesis, se obtuvo la distribución de esfuerzos de von Mises sobre los modelos de las prótesis con un código de colores, indicando en color rojo el valor del esfuerzo de von Mises máximo. Visualmente se puede apreciar que la concentración de esfuerzos se presenta en el cuello de la cabeza femoral, ilustrado en color rojo en la Figura 4c. En completa concordancia con la zona en la que el fémur del paciente sufrió la fractura. Los casos que una prótesis puede tener, derivados de las sollicitaciones sobre la misma son: prótesis sin daño estructural, prótesis con deformación permanente y, fractura de la prótesis.

Material	Ti-6Al-4V	316-L	L-605
Actividad	Esfuerzo Von Mises (Pa)		
Caminar	3.01E+08	3.77E+08	3.77E+08
De pie	3.64E+08	3.65E+08	3.65E+08
Bicicleta	1.63E+08	1.64E+08	1.64E+08
Levantarse	3.13E+08	3.14E+08	3.14E+08
Subir	6.54E+08	6.54E+08	6.55E+08
Bajar	4.91E+08	4.92E+08	4.92E+08
Sentarse	2.77E+08	2.78E+08	2.78E+08
Trotar	6.51E+08	6.52E+08	6.52E+08

Tabla 2 Resultados de los esfuerzos de von Mises.

Factor de seguridad

Un aspecto importante en el diseño de prótesis es determinar el factor de seguridad (FS). Dicho factor está definido en función del criterio de falla de von Mises, y se muestra en la ecuación 3. El factor de seguridad debe ser mayor o por lo menos igual a uno.

$$FS = \sigma_{lim} / \sigma_{vm}$$

Donde σ_{lim} es el esfuerzo en el límite elástico del material. Como se puede observar en la Tabla 3, la prótesis hecha de Ti-6Al-4V tiene valores del factor de seguridad superiores a uno.

Material	Ti-6Al-4V	316-L	L-605
Actividad	FACTOR DE SEGURIDAD		
Caminar	3.06	0.45	0.82
De pie	2.52	0.47	0.85
Bicicleta	5.63	1.04	1.90
Levantarse	2.94	0.54	0.99
Subir	1.41	0.26	0.47
Bajar	1.87	0.35	0.63
Sentarse	3.32	0.61	1.12
Trotar	1.41	0.26	0.48

Tabla 3 Factores de seguridad

Lo que significa que resistirá las cargas máximas aplicadas como resultado de realizar las actividades de: Caminar, estar de pie andar en bicicleta, levantarse, subir y sentarse.

Por otra parte, las actividades como trotar y subir escaleras no las podrá realizar, puesto que comprometen la integridad de la prótesis. Finalmente, se puede decir que las prótesis fabricadas de acero 316-L y L-605 no son recomendables para su uso, puesto que tienen un factor de seguridad inferior a uno.

Comentarios Finales

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que el material idóneo para la fabricación de este tipo de prótesis es el Ti-6Al-4V. Cabe mencionar que los resultados son en función del peso del paciente, la topografía que presenta su fémur y las actividades que habitualmente realiza, y que deben de tomarse en cuenta al diseñar la prótesis para una persona con características diferentes y/o con necesidades de actividad física diferente, lo que hace necesario robustecer el cuello femoral ya que es el punto donde la prótesis tiende a fallar. Finalmente, y como resultado del factor de seguridad para las diversas actividades, se propone mejorar el diseño a nivel del cuello femoral para así obtener un factor de seguridad superior a uno y garantizar la durabilidad y funcionalidad de la prótesis.

Referencias

- Arellano Guerrero, Raúl Eduardo. "Análisis estático de prótesis de cadera tipo Spotorno® mediante FEM." (2015).
- Canci, Piergiorgio. "FE parametric model (patient specific) of a femur." (2017).
- Gaitán Lee, Hernando, and Diana Sarmiento-Osorio. "Genesis and Evolution of Hip Arthroplasty." *Universitas Medica* 62, no. 1 (2021): 61-67.
- Hazlehurst, Kevin Brian. "The adoption of laser melting technology for the manufacture of functionally graded cobalt chrome alloy femoral stems." (2014).
- Hernández-Romero, K., A. B. Martínez-Valencia, L. Béjar-Gómez, and Miguel Villagómez-Galindo. "Análisis Biomecánico de una Prótesis de Cadera mediante Elementos Finitos." *Revista mexicana de ingeniería biomédica* 41, no. 2 (2020): 53-65.
- Losa Zapico, Paula. "Diseño de una prótesis liviana de cadera con la posibilidad de incorporar medicación." (2018).
- Mahiques Oltra, A. "Estudio de diseño y cálculo de una prótesis de cadera [dissertation]. [Valencia]: Universitat Politècnica de València, 2015. 141p."
- Martel, Oscar, Hernando Alfonso, José Bermejo, Alberto Cuadrado, and Donato Monopoli. "Análisis comparativo de prótesis de cadera: implantes tradicionales frente a implantes mínimamente invasivos." (2011).
- Sun, Changning, Ling Wang, Jianfeng Kang, Dichen Li, and Zhongmin Jin. "Biomechanical optimization of elastic modulus distribution in porous femoral stem for artificial hip joints." *Journal of Bionic Engineering* 15 (2018): 693-702.

Análisis de Humedad de Rodajas de Mesocarpio de Sandía Deshidratadas por Ventana de Refractancia

Ing. Karla Yoali Sánchez Andrade¹, Dra. Rosalía Cerecero Enríquez²,
Dr. José Manuel Tejero Andrade³, Dra. Leticia López Zamora⁴, Dr. Eusebio Bolaños Reynoso⁵

Resumen—La sandía (*Citrullus lanatus*) está compuesta por pulpa o lóculo, corteza o mesocarpio y, cascara o epicarpio [1], contiene $\pm 90\%$ de agua, vitaminas B, aminoácidos (citrulina y arginina) y antioxidantes (compuestos fenólicos, carotenoides y licopeno), con una vida de anaquel ~ 12 días a 20 °C, propuesto por Martins, *et al.* (2018). En México, el mesocarpio no es utilizado y contiene compuestos antioxidantes, por lo que, es necesario encontrar alternativas de aprovechamiento y/o conservación. En este trabajo, se propone el secado por ventana de refractancia (VR), donde la temperatura del agua juega un papel importante en el tiempo de secado, además del espesor del material a secar, como el espesor de la película de poliéster permeable a la radiación infrarroja [3], y se evalúan como respuesta los cambios fisicoquímicos en la rodaja y variación en el contenido de antocianinas.

Palabras clave— mesocarpio de sandía, secado, ventana de refractancia, actividad de agua.

Introducción

En frutos con alto contenido de humedad, este parámetro juega un rol importante en su vida de anaquel y de almacenamiento. La reducción de la humedad a través de la transferencia de masa y calor incrementa su vida media, facilitar su transportación, conservar la calidad y reducir la pérdida postcosecha. El secado de alimentos o frutos, se ha realizado mediante el secado solar, aire caliente, microondas, infrarrojo, liofilizado o métodos combinados, tal que microondas-aire caliente e infrarrojo-aire caliente. Otro aporte son los pretratamientos que pueden reducir contenido de agua y facilitar la transferencia durante el secado, como son, ultrasonido, escaldado, microondas, ácido cítrico, etc.

La respuesta de los frutos a las condiciones del secado ha sido valorada a través del análisis de color, encogimiento o reducción de volumen o tamaño, radio de rehidratación (RR), térmico (energía cinética y específica), nutricional [capacidad antioxidante (AC), contenido total de polifenoles (TPC), contenido total de flavonoides (TFC)]. Paris (2015) menciona que la sandía (*Citrullus lanatus*) está compuesta por pulpa o lóculo, corteza o mesocarpio y, cascara o epicarpio. En México, el mesocarpio no es consumido, a pesar de contener compuestos nutricionales. En este trabajo se propone como alternativa de conservación de hojuelas de mesocarpio para consumo mediante el secado por ventana de refractancia (VR). En el secado, la temperatura del agua juega un rol importante versus tiempo, además, del espesor del material a secar, así como, el espesor de la película de poliéster permeable a la radiación infrarroja, de acuerdo con autores (Gamboa, *et al* 2014). Se propuso trabajar con rodajas de 4cm de diámetro y un espesor de rodaja de 3,5,7 cm, con temperaturas de 70,80, 90° C y, evaluar los cambios fisicoquímicos y en antocianinas en rodaja deshidratada. Las antocianinas representan un potente antioxidante que contribuye a la reducción del oxígeno libre, el cuál es un precursor del envejecimiento celular.

Descripción del Método

Una sandía entera semi-madura es dividida en lóculo, mesocarpio y epicarpio. Del mesocarpio se obtuvieron rodajas con 4 cm de diámetro y, espesor 3, 5, 7 mm. Se determinó la humedad con NMX-F-083-1986 a peso constante y color con el colorímetro Hunter Lab modelo MiniScan XE Plus. Otros pigmentos de importancia son las antocianinas (Avello 2011), en jugo de sandía reportan 0.4 +0.3 mg/100 ml. La extracción de antocianinas se realizó por medio de un solvente a base de etanol anhidro, agua destilada y ácido clorhídrico en relación 7:3:1

¹ La Ing. Karla Yoali Sánchez Andrade es Estudiante de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Orizaba, Veracruz. M16010598@orizaba.tecnm.mx (autor corresponsal)

² La Dra. Rosalía Cerecero Enríquez es Profesora Investigadora de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Orizaba, Veracruz, México rosalia.ce@orizaba.tecnm.mx

³ El Dr. José Manuel Tejero es Profesor Investigador el Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz, Veracruz, Veracruz, México. jmtejand@gmail.com

⁴ La Dra. Leticia López Zamora es Profesora Investigadora de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Orizaba, Veracruz, México. leticia.lz@orizaba.tecnm.mx

⁵ El Dr. Eusebio Bolaños Reynoso es Profesor Investigadora de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química en el Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Orizaba, Veracruz, México. eusebio.br@orizaba.tecnm.mx

(v:v:v). En un frasco ámbar se colocó la muestra y el solvente 1:1 (v: v), con un tiempo de extracción 24h a 4° C, después se filtra (papel filtro poro No.1) y concentra a 55° C reduciendo el volumen al 60%. Para cuantificar las antocianinas se utilizaron soluciones tampón y se obtiene el extracto, preparan las soluciones para lectura en el espectrofotómetro Genesys 20 en un rango de 375 a 1100 nm utilizando agua destilada como blanco. El secado por VR se realizó en un prototipo consistente de un baño térmico de acero inoxidable de 12 a 200°C, y una membrana de poliéster (tipo Mylar, transparente a la radiación infrarroja con un espesor de 0.5 mm y área de 23 x 21 cm²). Se utilizó un diseño factorial 3² con 2 factores: 90, 80 y 70 °C con 3, 5, 7 mm de espesor.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo investigativo se estudió que la sandía fresca tiene una porción comestible de 52 g/100 g de fruto fresco (Moreiras *et al.*, 2013), sin embargo, al considerar el mesocarpio se aprovechan 950 g/1010 g del fruto. Se presentan resultados promedio de tres replicas para las siguientes determinaciones, el jugo de mesocarpio contiene 4.8° Brix, una densidad 1.1016 g/ml., Cenizas 0.033 g, con un pH de 5.51 y humedad 93.4 %. Las rodajas deshidratadas a 90 °C y 150 min con espesores de 3 y 5 mm muestran un contenido 0.267 mg/100 por lo cual, esta temperatura es la menos eficiente en la retención de antocianinas. El análisis de color de rodaja para 70, 80, 90 °C con 1 mm de espesor presentan un ΔE de 10.2, 6.86, y 6.26, lo cual es una variación significativa del color de blanco al negro, este fenómeno es debido al ser una rodaja delgada hay mayor difusividad térmica, sin embargo, se favorece la oxidación de compuestos polifenólicos denotado por un oscurecimiento. Todos los tratamientos se realizaron por triplicado, en la tabla 1 se muestran valores promedio.

Muestra	Tiempo (min)	Humedad (%)	a _w
Natural	0	93.33	0.98
SVR93	150	6.30	0.4020
SVR95	150	6.41	0.4223
SVR83	210	6.76	0.3953
SVR 85	210	6.85	0.3873
SVR 73	240	6.40	0.773
SVR 75	240	7.35	0.4018
Clave de la muestra es Secado por Ventana de Refractancia (SVR), Temperatura 70, 80, 90°C y espesor 3, 5, y 7 mm. Los resultados con espesor de 7 mm demandan tiempos mucho más prolongados para alcanzar una actividad de agua reducida.			

Cuadro 1. Resultados del secado por VR en rodajas del mesocarpio de sandía.

Conclusiones

El método de secado por VR es adecuado para rodajas de mesocarpio de sandía, siendo el mejor tratamiento a 70 °C, con espesor 3mm y 240 min logrando una a_w <0.4018. Obteniendo alimentos de humedad intermedia de fácil almacenamiento sin conservadores. Lo anterior permite validar al VR como una alternativa de conservación significativa de frutos ricos en nutrientes. Aún resta optimizar el contenido de carotenoides para una mayor retención y conservación aun está en curso

Recomendaciones

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación podrían concentrarse en trabajar con diferentes espesores para poder comprobar la pérdida de humedad en distintas temperaturas, y así corroborar la retención de carotenoides en la sandía.

Referencias

- Gamboa D., Ibañez D., Melendez M., Paredes E., Siche R. (2014). Secado de lúcumo (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ciencias Agropecuarias, 5:103-108.
- Martins, C., Ferreira, M., Esmerino, E., Moraes, J., Pimentel, T., Rocha, R., Santos, J. (2018). Chemical, sensory, and functional

properties of whey-based popsicles manufactured with watermelon juice concentrated at different temperatures. *Food Chemistry*, 18, 1-37.

Paris, S. H. (2015). Origin and emergence of the sweet dessert watermelon, *Citrullus lanatus*. *Annals of Botany* 116, 133-148.

Método Iterativo para Sintonizar un Controlador PID Basado en el Error Cuadrático Medio

Lic. Luis Daniel Sánchez Gloria¹, Dr. Omar Palillero Sandoval²,
Dr. Carlos Rodríguez Doñate³ y Dr. J Jesús Escobedo Alatorre⁴

Resumen—Hasta el momento, los controladores Proporcional-Integral-Derivativos (PID) han sido ampliamente utilizados en aplicaciones prácticas, sin embargo, para poder utilizar estos controladores es necesario realizar el proceso de sintonización para ajustar las ganancias del controlador que permitirán obtener la respuesta que se desea de la planta a controlar, dentro de estos métodos se han estudiado y destacado los métodos Iterative Feedback Tuning (IFT). Por lo cual este trabajo presenta un novedoso método de sintonización basado en un esquema IFT y el error cuadrático medio. El método realiza el proceso de sintonización para que el sistema sea lo más semejante a la respuesta deseada que se requiere. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad, flexibilidad y adaptabilidad del método ya que se utilizaron diferentes plantas para validar el funcionamiento.

Palabras clave—Control PID, algoritmo iterativo retroalimentado, error cuadrático medio, sintonización.

Introducción

Actualmente, los controladores automáticos se encuentran en gran parte de aplicaciones de uso cotidiano y sobre todo en el sector industrial. Sin embargo, los controladores basados en las leyes de control clásico Proporcional - Integral - Derivativo o simplemente controladores PID predominan en la mayoría de las aplicaciones prácticas debido su fácil implementación, baja demanda de recursos computacionales y su robustez ante perturbaciones. Para este tipo de controlador es necesario realizar un correcto proceso de sintonización que consiste en ajustar las ganancias: proporcional (K_p), integral (K_i) y derivativa (K_d) para que el sistema a controlar tenga el comportamiento deseado; ya que si existe una mala sintonización del controlador provocará errores que afectarán el desempeño del sistema. Por lo tanto, la sintonización sigue siendo un tópico muy importante en la ingeniería de control, debido a lo cual se siguen proponiendo nuevos métodos de sintonización basados en redes neuronales, inteligencia artificial, algoritmos genéticos, lógicas difusas, métodos iterativos retroalimentados (Iterative Feedback Tuning, IFT), entre otros.

Actualmente, los métodos IFT han sido ampliamente utilizados para la sintonización de los controles PID ya que han demostrado un fiable rendimiento como los demuestran los trabajos de H. Jung et al. 2020 que realizan un esquema de control en cascada para dos sistemas de inercia, con un IFT basado en una función de costo matricial para realizar el ajuste de los parámetros del PID. El autor K. Pereida et al. 2018 diseña un controlador adaptivo de Lagrange y un control de Aprendizaje Iterativo (ILC) para el seguimiento de trayectorias de drones, mejorando el rendimiento en función de las iteraciones anteriores. D. Zhang et al. 2021 propone un sistema de control de aprendizaje iterativo basado en redes neuronales para múltiples tareas en un brazo robótico. De igual forma el esquema presentado por J. Hao et al. 2020 utiliza una estructura con retroalimentación y redes neuronales para ajustar las ganancias del PID en un sistema discreto no lineal. El método IFT propuesto por Kono y Masuda (2019) requiere del uso de filtros y el cálculo del vector de gradiente de la salida y la entrada del sistema para determinar la función de costo de mínima varianza a partir de los cuales se estimarán los parámetros del PID.

Considerando lo anterior en este trabajo se presenta un novedoso método de sintonización de un controlador PID basado en un esquema IFT, el error cuadrático medio (ECM) y como parámetros de diseño la sobrelongación máxima (M_p) y tiempo de asentamiento (t_s); esta nueva propuesta en cada iteración que se realiza ajusta las ganancias del controlador para lograr acercarse a la respuesta deseada, lo cual se logra cuando el ECM tiende a cero.

¹ El Lic. Luis Daniel Sánchez Gloria es alumno de la Maestría en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (MICA) que se imparte en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas que pertenece a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. luis.sanchezglo@uaem.edu.mx

² El Dr. Omar Palillero Sandoval es Profesor – Investigador de Tiempo Completo del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) que pertenece a la Universidad Autónoma de Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. omar.palillero@uaem.mx

³ El Dr. Carlos Rodríguez Doñate es Profesor de la Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato – Salamanca, sede Yuriria, División de Ingenierías, Yuriria, Guanajuato. c.rodriguezdonate@ugto.mx

⁴ El Dr. J Jesús Escobedo Alatorre es Director del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas que pertenece a la Universidad Autónoma de Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. jescobedo@uaem.mx

Descripción del Método

La figura 1 presenta un diagrama de bloques en donde se observa con más a detalle el método propuesto. Por otra parte, en los siguientes pasos se explica cada etapa del método:

- Paso 1: en esta parte el usuario debe de introducir la función de transferencias de la planta a controlar, los parámetros de diseño (t_s y M_p), la variable Inc (variable que permite incrementar el valor de las ganancias de control) y la variable Ite (número máximo de iteraciones que realizará el método).
- Paso 2: utilizando los valores de los parámetros de diseño (t_s y M_p), las ecuaciones (1), (2) y la función de transferencia de un sistema de segundo orden (3), obtendremos la respuesta deseada, es decir, respuesta a la cual es sistema debe de ser lo más semejante posible.

$$Mp = e^{-(\zeta/\sqrt{1-\zeta^2})\pi} \quad (1) \quad t_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} \quad (2) \quad G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (3)$$

- Paso 3: establecer valores iniciales a las ganancias de control: $K_p=Inc$, $K_i=0$ y $K_d=0$. En este caso se utilizaron valores de $Inc = [0.1, 0.01, 0.001]$
- Paso 4: obtener la respuesta del sistema (control PID y planta) en lazo cerrado ante una entrada escalón unitario.
- Paso 5: estimar el ECM (4) entre la respuesta deseada y la respuesta del sistema.

$$ECM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A[i] - B[i])^2 \quad (4)$$
- Paso 6: comparar el número de iteraciones del método IFT y el número de iteraciones seleccionado por el usuario (Ite), en este caso se realizaron 100000 iteraciones.
 - Si $j \neq Ite$ incrementa j en una unidad y procede al paso 7.
 - Si $j = Ite$ procede al paso 8.
- Paso 7: aplicar el criterio de incremento para las ganancias K_p , K_i y K_d en un factor de Inc y regrese al paso 3 sustituyendo los valores de las ganancias. Mas detalles del criterio de incremento en la siguiente subsección.
- Paso 8: evaluar todos los valores obtenidos del ECM y guardar las ganancias en donde el ECM fue el más cercano a cero, es decir, las ganancias en donde la respuesta del sistema fue lo más semejante a la respuesta deseada.
- Paso 9: analizar los resultados finales: tiempo promedio de ejecución, valor mínimo del ECM y los índices de desempeño.

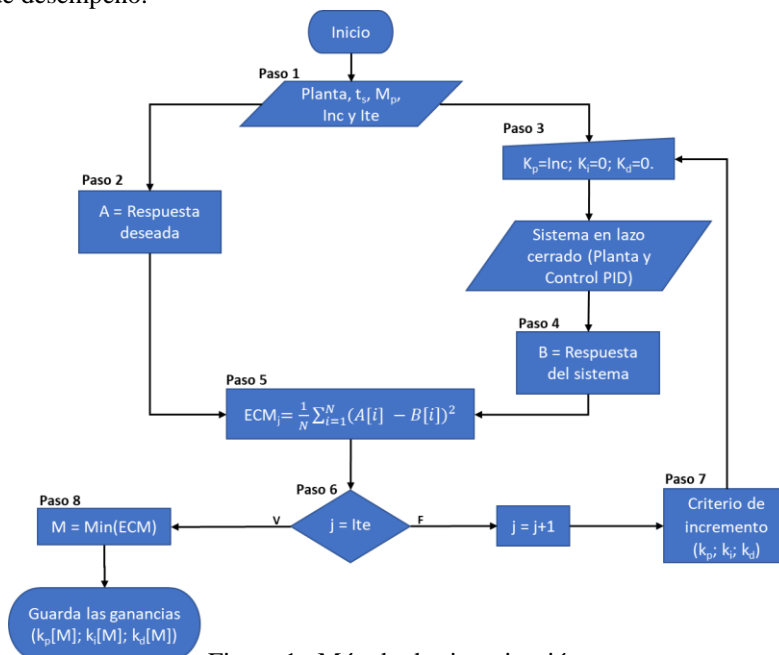


Figura 1. Método de sintonización.

Criterios de incremento

El criterio de incremento tiene como base la propuesta del trabajo presentado por Xh. Mehmeti (2019), considerando el efecto individual de las ganancias de control en los parámetros de la respuesta transitoria. La primera ganancia que se ajusta es K_p y posteriormente las ganancias K_i y K_d .

- Ganancia K_p : se compara el valor máximo de la respuesta del sistema (V_{RS}) y el valor máximo de la respuesta deseada (V_{RD}):
 - Si $V_{RS} < V_{RD}$ se incrementa K_p en un factor de Inc.
 - Si $V_{RS} \geq V_{RD}$ guarda el valor de K_p .
- Ganancias K_i y K_d : se realiza un algoritmo donde se comparan todas las posibles combinaciones, utilizando como pivote la ganancia K_i :


```

            if  $K_d < K_i$ 
                 $K_d = K_d + \text{Inc}$ ;
            else
                 $K_i = K_i + \text{Inc}$ ;
                 $K_d = 0$ ;
            end
            
```

Resultados

Para validar y analizar la respuesta de este nuevo método se utilizaron diversos parámetros de diseño y dos funciones de transferencia. La primera función de transferencia corresponde al comportamiento dinámico linealizado del ángulo de alebeo de una aeronave la cual se describe por la ecuación (5) y la segunda función de transferencia que se describe en (6) corresponde a un motor de escobillas con motorreductor y encoder, la cual fue estimada de forma experimental.

$$G_1(s) = \frac{1.15s + 0.18}{s^3 + 0.74s^2 + 0.92s} \quad (5)$$

$$G_2(s) = \frac{6930.6}{3.296s^2 + 29.42s + 1} \quad (6)$$

Parámetros de diseño:

- $M_p = 15\%$; $t_s = 5s$
- $M_p = 10\%$; $t_s = 3s$
- $M_p = 10\%$; $t_s = 0.1s$
- $M_p = 1\%$; $t_s = 0.1s$

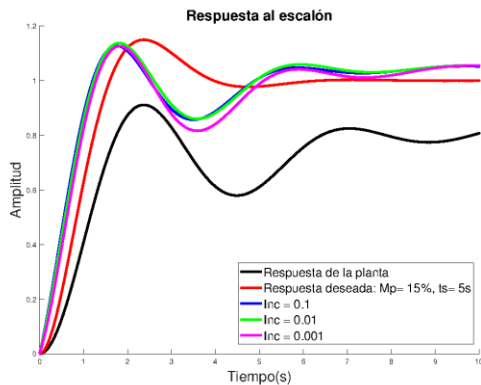
Cabe repetir que en cada prueba se utilizó un $\text{Inc} = [0.1, 0.01, 0.001]$ y $\text{Ite} = 100000$. A partir de todos estos parámetros de entrada se realizó la sintonización con el método propuesto. Las siguientes figuras y cuadros muestran los resultados obtenidos.

En cada una de las siguientes figuras se puede ver las siguientes graficas:

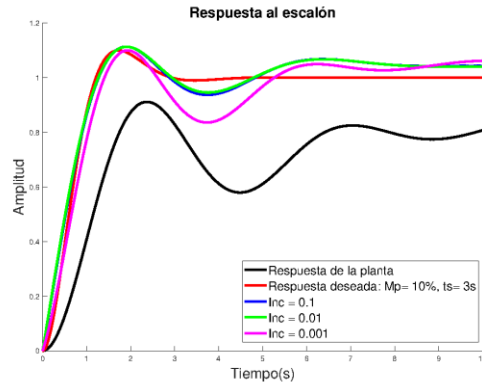
- De color negro la respuesta del sistema ante una entrada escalón unitario sin controlador.
- De color rojo la respuesta deseada utilizando los parámetros de diseño.
- De color azul la sintonización de controlador utilizando un incremento de 0.1 para las ganancias.
- De color verde la sintonización del controlador utilizando un incremento de 0.01 para las ganancias.
- De color rosa la sintonización del controlador utilizando un incremento de 0.001 para las ganancias.

Por otro lado, en los cuadros siguientes se presenta información relevante de cada una de las pruebas realizadas: Valor final de las ganancias de control, Tiempo promedio de ejecución de cada sintonización, ECM, ISE, ITSE, IAE y ITAE

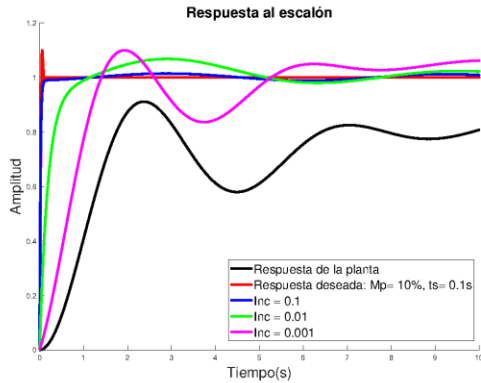
Comportamiento dinámico linealizado del ángulo de alebeo de una aeronave:



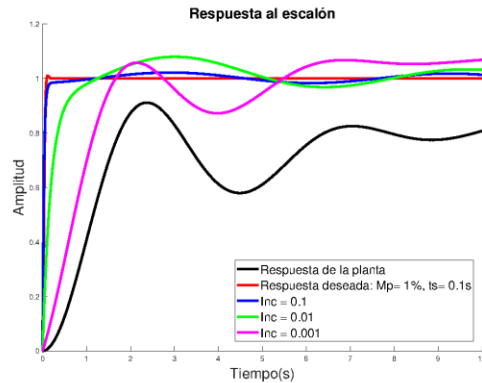
(a) Simulación 1: $G_1(s)$; $M_p = 15\%$, $t_s = 5s$



(b) Simulación 2: $G_1(s)$; $M_p = 10\%$, $t_s = 3s$



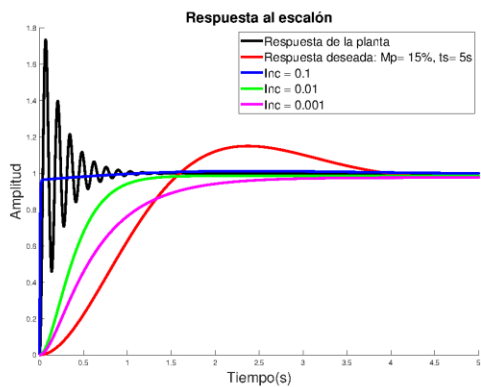
(c) Simulación 3: $G_1(s)$; $M_p = 10\%$, $t_s = 0.1s$



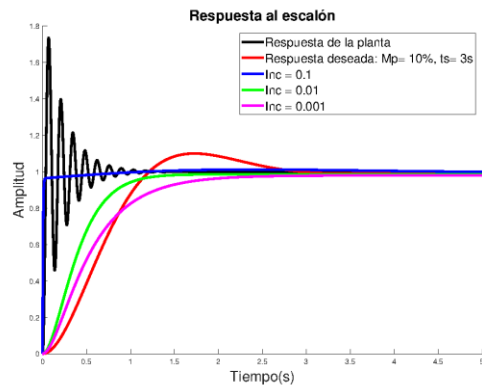
(d) Simulación 4: $G_1(s)$; $M_p = 1\%$, $t_s = 0.1s$

Figura 2. Planta 1: sintonización del controlador PID.

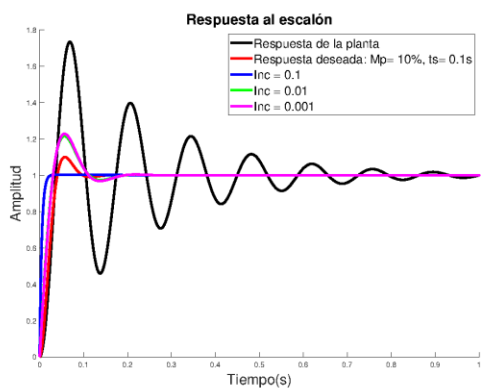
Motor de escobillas con motorreductor y encoder:



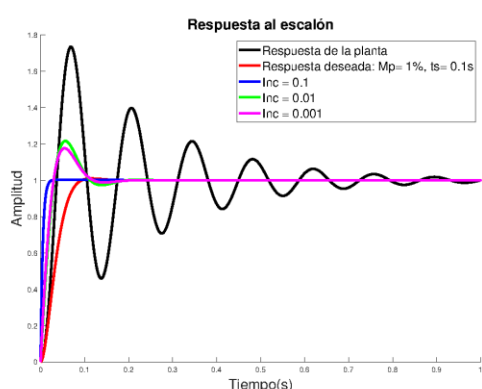
(a) Simulación 1: $G_2(s)$; $M_p = 15\%$, $t_s = 5s$



(b) Simulación 2: $G_2(s)$; $M_p = 10\%$, $t_s = 3s$



(c) Simulación 3: $G_2(s)$; $M_p = 10\%$, $t_s = 0.1s$



(d) Simulación 4: $G_2(s)$; $M_p = 1\%$, $t_s = 0.1s$

Figura 3. Planta 2: sintonización del controlador PID.

Al analizar cada una de las gráficas se observa que el método encuentra las ganancias con las cuales el comportamiento de la planta es lo más semejante a la respuesta deseada, obteniendo un ECM lo mas cercano a cero, por otro lado, al analizar el cuadro 1 se observa que los índices de desempeño al tener un valor mas alejado de cero, el valor de ECM tiende alejarse de cero, esto se debe ya que el método no encuentra ganancias de control que puedan llegar hacer que la respuesta de la plante sea más semejante a la respuesta deseada.

	Simulación	Factor de incremento:	K_p	K_i	K_d	Tiempo promedio de ejecución (s)	ECM	ISE	ITSE	IAE	ITAE
Planta 1	1	0.1	1.9	0.6	0.6	661.279	0.013	0.131	0.305	0.886	3.008
		0.01	1.81	0.63	0.56	644.181	0.011	0.118	0.295	0.870	3.104
		0.001	1.801	0.441	0.441	668.278	0.012	0.121	0.336	0.836	2.895
	2	0.1	1.6	0.9	0.8	657.102	0.002	0.022	0.110	0.419	2.217
		0.01	1.59	0.95	0.84	637.950	0.002	0.022	0.104	0.410	2.141
		0.001	1.586	0.442	0.442	638.184	0.004	0.046	0.192	0.555	2.596
	3	0.1	1.6	44.5	44.5	663.247	.0002	0.002	0.004	0.092	0.421
		0.01	1.59	4.45	4.45	652.335	0.009	0.092	0.047	0.431	1.115
		0.001	1.586	0.442	0.442	646.960	0.048	0.483	0.353	1.184	2.956
	4	0.1	1.3	28.9	28.9	662.825	.0003	0.003	0.009	0.131	0.623
		0.01	1.27	4.45	4.45	643.837	0.007	0.079	0.068	0.481	1.463
		0.001	1.27	0.442	0.442	644.882	0.049	0.492	0.386	1.221	3.316
Planta 2	1	0.1	0.1	0.1	0.1	663.489	0.060	0.604	0.286	1.050	1.114
		0.01	0.01	0	0	640.911	0.017	0.178	0.183	0.727	1.457
		0.001	0.006	0	0	638.298	0.008	0.084	0.154	0.620	1.780
	2	0.1	0.1	0.1	0.1	657.702	0.041	0.413	0.128	0.696	0.483
		0.01	0.01	0	0	641.835	0.005	0.053	0.050	0.405	0.960
		0.001	0.007	0	0	637.985	0.003	0.033	0.060	0.401	1.274
	3	0.1	1	0.1	0.1	681.285	.0008	0.008	.0001	0.021	0.008
		0.01	1	0.02	0.02	667.574	.0002	0.002	7×10^{-5}	0.015	0.003
		0.001	1	0.019	0.019	657.784	.0002	0.002	9×10^{-5}	0.016	0.003
	4	0.1	1	0.1	0.1	672.050	0.001	0.016	.0003	0.032	0.008
		0.01	1	0.02	0.02	648.961	0.001	0.012	.0004	0.033	0.004
		0.001	1	0.024	0.024	655.768	0.001	0.012	.0004	0.032	0.003

Cuadro 1. Información de sintonización: $G_1(s)$ y $G_2(s)$

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo se abordó uno de los tópicos más relevantes en el área de control automático, la sintonización de los controladores, en el trabajo se implementó un novedoso método de sintonización bajo un esquema IFT y el error cuadrático medio, utilizando el software Matlab para la creación del algoritmo. Los resultados finales incluyen las gráficas de cada simulación realizada con el método, utilizando diferentes plantas y parámetros de diseño, así como un análisis con los datos más relevantes de cada una de las pruebas: valores de las ganancias de control, tiempo promedio de ejecución, ECM e índices de desempeño.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad del método ya que obtienen una óptima sintonización para que el sistema sea lo más semejante a la respuesta deseada por el usuario, a diferencia de otros trabajos, el método propuesto al utilizar un algoritmo IFT no requiere de funciones de costo complejas, técnicas o esquemas adicionales, se basa en conceptos ampliamente utilizados en la teoría de control: sistemas de segundo orden, sobreelongación máxima, tiempo de establecimiento y como elemento adicional la integración del error cuadrático medio como índice de comparación, el cual es la base principal del método. La adaptabilidad y la flexibilidad que demuestra el método permite que pueda ser utilizados como un método de sintonización fiable y convencional.

Recomendaciones

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación podrían concentrarse en una técnica que permita optimizar el número de iteraciones del método, logrando aun así una sintonización óptima, menos tiempo de ejecución y disminuyendo la carga computacional. Por otro lado, también sugerimos realizar pruebas experimentales en plantas reales ya que este trabajo solo se concentra en la parte de simulación.

Referencias

- D. Zhang, Z. Wang, T. Masayoshi, "Neural-Network-Based Iterative Learning Control for Multiple Tasks", *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.*, vol. 32, no. 9, pp. 4178 - 4190, Sept 2021, 10.1109/TNNLS.2020.3017158.
- H. Jung, K. Jeon, J. G. Kang, S. Oh, "Iterative feedback tuning of cascade control of two-inertia system", *IEEE Control Syst. Lett.*, vol. 5, pp. 785-790, June 2020, 10.1109/LCSYS.2020.3005803.
- J. Hao, G. Zhang, W. Liu, Y. Zheng, L. Ren, "Data-driven tracking control based on LM and PID neural network with relay feedback for discrete nonlinear systems", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 68, pp. 11587- 11597, November 2020, 10.1109/TIE.2020.3032872.
- K. L. Luna, E. R. Palacios, A. Marin, "A Fuzzy Speed Controller for a Guide Robot Using an HRI Approach", *IEEE Lat. Am. T.*, vol. 16, no. 8, pp. 2102-2107, Aug. 2018, 10.1109/TLA.2018.8528222.
- K. Pereida, D. Kooijman, R. P. R. Duivenvoorden, A. P. Schoellig, "Transfer learning for high-precision trajectory tracking through L1 adaptive feedback and iterative learning", *Int J Adapt Control Signal Process*, vol. 33, no. 2, pp. 388-409, Jun 2018, <https://doi.org/10.1002/acs.2887>.
- T. Kono, S. Masuda, "Performance Improvement in Iterative Data-driven PID Gain Tuning Based on Generalized Minimum Variance Regulatory Control", In 2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), pp. 364-367, January 2019, 10.1109/ECTICon.2018.8619874
- Xh. Mehmeti, "Adaptive PID controller design for joints of Humanoid Robot", *IFAC-PapersOnLine*, vol 52, pp. 110-112, 2019, 10.1016/j.ifacol.2019.12.456.

Estandarización y Mejora Continua del Proceso de Servicios Escolares bajo la Norma Internacional ISO-21001, en una Institución Educativa de la Salud de Guaymas, Sonora

Mtra. Jocelyn Sánchez López¹, Mtra. Claudia Alvarez Bernal², Mtro. Mtro. Francisco Javier Soto Valenzuela³,
Mtra. Rosa María Curiel Morales⁴ y Mtro. Marco Antonio Tellechea Rodríguez⁵

Resumen—La presente investigación se desarrolla en una Institución formadora de Profesionales de la Salud de Enfermería, ubicada en Guaymas, Sonora, implementada inicialmente en uno de los departamentos más importantes dentro de la Institución: Servicios Escolares, donde se estandarizaron los procedimientos dentro del área, cumpliendo con los lineamientos de la Norma Internacional ISO 21001, “Sistema de Gestión de Calidad para Organizaciones Educativas”, el proceso es realizado actualmente por el área con un conocimiento tácito adquirido por la experiencia de los involucrados, y el hecho de plasmarlos de manera formal en un manual de procedimientos, brindará la oportunidad a corto plazo de preservar el conocimiento que se ha aprobado, controlarlo de acuerdo a lo determinado, así mismo a largo plazo medirlo y mejorarlo continuamente a beneficio de la institución y del cumplimiento de sus objetivos. Posteriormente se podrá extender a otros procesos clave de la Institución, hasta lograr una certificación que asegurará y validará la calidad educativa con la que cuenta la Institución posicionándola competitivamente a nivel Nacional e Internacional.

Palabras clave— Calidad, Sistema de Gestión, Manual, ISO 21001.

Introducción

El Instituto de Educación para la Salud (la cual se nombrará como “Institución”) se fundó reciente el 15 de septiembre de 2015 como principal objetivo el de cubrir la necesidad de aspirantes interesados en la licenciatura de Enfermería en la zona de Guaymas Empalme. Actualmente su oferta se extiende además de la Licenciatura en enfermería al bachillerato, cursos pos-técnicos y maestría en ciencias de enfermería. En 2020 registro 175 alumnos matriculados lo cual representa el 5.34% del alumnado de 6 de las instituciones educativas más importantes en el Estado. En la Institución el departamento que compete en este estudio es el Departamento de Servicios escolares, el cual es el área dentro del Instituto cuya principal función es ser intermediario entre el alumnado y el instituto mismo o instituciones externas coordinando una gran diversidad de servicios en la Admisión, Inscripción o Reinscripción, Evaluación, Certificación y Titulación.

El Instituto por ser una escuela reciente se ha visto desafiado por una serie de temas relacionados a cumplir con todos los requisitos que le pide la Secretaria de Educación y Cultura (SEC), en un debido tiempo y forma, como por ejemplo en el proceso de titulación del alumnado de la primera generación que ha culminado satisfactoriamente sus estudios y ha solicitado la documentación pertinente que avale dichos estudios, tarea que no le ha resultado nada fácil a pesar de que este realiza una investigación de cada uno de los tramites que se tienen que realizar, finalmente esto se ha convertido en un proceso de prueba y error.

Dentro de estos procesos de Admisión, Inscripción o Reinscripción, Evaluación, Certificación y Titulación, se logra identificar los siguientes problemas: Problemas de ejecución en los procesos internos de la institución ya que por ser una escuela de reciente creación no se cuenta con procedimientos establecidos formalmente, el encargado del área investiga los procedimientos que tiene que realizar y al ejecutarlos debido a la inexperiencia ha sido un proceso largo de “prueba y error”, los tramites que se realizan ante la Secretaria de Educación y Cultura (SEC) han sido rechazados ya que no existe un solo criterio en la forma en cómo se entregan los expedientes, los tramites rechazados se tienen que corregir y reiniciar nuevamente el trámite, retrasando estos, los tramites son largos oscilan desde 20 días hábiles extendiéndose a 2 o 3 meses dependiendo el trámite, al ser documentos oficiales como el título deben ser

¹ Mtra. Jocelyn Sánchez López es docente del programa de Ingeniería Industrial y de Sistemas del Instituto Tecnológico de Sonora, en la ciudad de Guaymas, Sonora, México, jocelyn.sanchez231263@potros.itson.edu.mx

² Mtra. Claudia Alvarez Bernal es docente de la maestría en Ingeniería en Logística y Calidad del Instituto Tecnológico de Sonora, en la ciudad de Guaymas, Sonora, México claudia.alvarez19300@potros.itson.edu.mx (autor corresponsal)

³ Mtro. Francisco Javier Soto Valenzuela es docente del programa de maestría en Ingeniería en Logística y Calidad del Instituto Tecnológico de Sonora, en la ciudad de Guaymas, Sonora, México francisco.soto17870@potros.itson.edu.mx

⁴ Mtra. Rosa María Curiel Morales es docente del programa de Ingeniería Industrial y de Sistemas del Instituto Tecnológico de Sonora, en la ciudad de Guaymas, Sonora, México, rosa.curiel17771@potros.itson.edu.mx

⁵ Mtro. Marco Antonio Tellechea Rodríguez es docente del programa de Ingeniería en Software del Instituto Tecnológico de Sonora, en la ciudad de Guaymas, Sonora, México, mtellechea@itson.edu.mx

expedidos con medidas de seguridad anti copia lo que implica un costo de re-expedición (papel especial, impresión) por cada rechazo y también existe un costo que exige la SEC se pague en cada tramite por consiguiente si existe un rechazo este se pierde

Ahora bien, con la finalidad de mejorar estos procesos, y el área general, se realizó un análisis concretamente en el área Servicios Escolares así de cómo se desarrollan sus actividades con el objeto de encontrar áreas de oportunidad a mejorar. Simultáneamente a este análisis se buscó en la literatura conocida, las posibles opciones o métodos de los que apoyarse para mejorar el área de titulación que permita estandarizar las operaciones en general a fin de que se planeen y gestionen las estrategias logísticas de manera anticipada, evitando así el exceso en tiempo, los costos, incremento en el número de rechazos, disminución de egresados titulados, y demás problemas identificados en el área.

Como resultado de la investigación en la literatura las metodologías más importantes fueron la “ISO 9001:2015” a través de la cual se establecen requisitos mínimos que deben cubrir las organizaciones para garantizar la calidad de sus servicios y productos, también existe la “ISO 21001:2018” Sistema de Gestión de Organizaciones Educativas establece requisitos para un sistema de gestión de calidad para organizaciones educativas, incluyendo el cumplimiento con requisitos legales y reglamentarios; procesos de mejora continua, garantizando la conformidad y el incremento de la satisfacción de los estudiantes. Aplica a las organizaciones educativas formales de distintos niveles (básica, media y superior). Promueve la adopción de un enfoque basado en procesos para mejorar el aprendizaje, el cual permite gestionar un sistema que contribuye a la eficiencia de la organización para lograr los resultados esperados, cumplir con los objetivos y alcanzar las metas planificadas, y aunque complementaria de la ISO 9001 para el objeto de la implementación la ISO 21001:2018 ya está adecuada a los conceptos de una institución educativa, caso que no tiene la ISO 9001 que se dirige más a los procesos en una industria, adicionalmente en la literatura se encuentra también “Cómo elaborar y usar los manuales administrativos” (Rodríguez, 2012) brindando técnicas administrativas para la recopilación análisis, elaboración de procedimientos y compilación en un manual, sin embargo solo contempla la elaboración de los manuales y no la implementación de un sistema de mejora continua, por tanto se usará la ISO 21001 como metodología para Implementar una mejora en el área de Servicios Escolares cumpliendo con los lineamientos de ISO 21001 plasmando de manera formal en un manual estandarizando así los procedimientos, evitando así el exceso en tiempo, los costos, incremento en el número de rechazos, disminución de egresados titulados, y demás problemas identificados en el área, a corto plazo de preservar el conocimiento que se ha aprobado controlarlo de acuerdo a lo determinado, así mismo a largo plazo medirlo para mejorar continuamente a beneficio de la institución y del cumplimiento de sus objetivos.

Adicionalmente se podrá extender a otros procesos clave de la Institución, hasta lograr una certificación que asegure y valide la calidad educativa con la que cuenta la Institución posicionándola competitivamente a nivel Nacional e Internacional. Esta propuesta de mejora en el área de titulación brindará la posibilidad de alinear los procesos operativos con los productivos contribuyendo así a la eficiencia de la organización. Se impactará directamente a las operaciones administrativas, evitará la duplicidad de funciones, la toma de decisiones no objetivas, reducirá la complejidad de los procesos, aumentará el porcentaje de aceptación en los tramites reduciendo las veces en que los tramites deben reingresarse por errores o solicitudes de cambios y por ende los costos de gestión. También agilizará el tiempo de formación del personal nuevo y preservará el conocimiento y la experiencia en la empresa.

Con la finalidad de mejorar sus procesos administrativos se busca realizar un análisis concretamente en el área de Titulación y de cómo se desarrollan sus actividades con el objeto de encontrar áreas de oportunidad a mejorar, por ello se plantea como objetivo de la investigación el implementar una mejora en el área de titulación que permita estandarizar las operaciones en general a fin de que se planeen y gestionen las estrategias logísticas de manera anticipada, evitando así el exceso en tiempo, los costos, incremento en el número de rechazos, disminución de egresados titulados, y demás problemas identificados en el área.

Descripción del Método

El objeto bajo estudio como ya ha sido mencionado es el área de Servicios Escolares de la Institución de Educación para la Salud. La presente investigación propuesta es con un enfoque cualitativo, de acuerdo al objetivo Implementar una mejora en el área de Servicios Escolares que permita estandarizar las operaciones en general a fin de que se planeen y gestionen las estrategias logísticas de manera anticipada, evitando así el exceso en tiempo, los costos, incremento en el número de rechazos, disminución de egresados titulados, y demás problemas identificados en el área; con un alcance Descriptivo ya que se deberá realizar el estudio del área involucrada, así como las variables que la componen a fin de medirlas controlarlas y mejorarlas. El diseño es no experimental, debido a que consiste en observación, tanto del área de trabajo donde él se evaluara la situación real de la operación como en

obtener la información general en cuanto a documentación y reuniones con los sujetos. Como la información es recolectada en un único momento se puede categorizar esta investigación como transversal.

Debido a que la Norma ISO 21001 está enfocada en las organizaciones Educativas es decir que es adecuada al objeto de estudio y considerando que en un futuro es muy probable que la organización desee una certificación, (lo cual en este momento no es posible por el nivel en el que se encuentra la organización) sin duda servirá como base a futuros proyectos se considera esta metodología como la mejor alternativa para realizar la mejora en el área de Servicios Escolares de la institución cuyo producto será un Manual de Procedimientos.

La ISO 21001 en su apartado E.3 Herramientas, incluye un listado de herramientas que la organización educativa puede utilizar al momento de implementar los requisitos de la norma, para fines del estudio se utilizaron las siguientes:

Tabla 1. Anexo E3 Herramientas a utilizar, Fuente: ISO 21001 2018-05 (2018)|

ANEXO E.3 ISO 21001	Utilizadas en el área
Análisis de costos;	
Encuestas de satisfacción;	
Esquemas de sugerencias;	
Sistemas de quejas y apelaciones;	
Evaluación de impacto;	<ul style="list-style-type: none"> • Registro de riesgos • Matriz de probabilidad e impacto
Análisis de necesidad;	<ul style="list-style-type: none"> • Consulta de documentación del área de Servicios Escolares: • Expedientes, Minutas, Registros, Reglamentos, • Estructura orgánica de la institución • Estadísticas de la organización
Análisis de datos estadísticos;	
Grupos de enfoque;	
Auto evaluación;	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa e indirecta: • Información obtenida mediante entrevistas no dirigidas, • Percepción de hechos y comportamientos
Evaluación por pares;	
Juntas y comités para analizar el rendimiento;	
FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas);	Análisis FODA, cadena de valor (Porter)
Lluvia de ideas;	Grupos de mejoras
Metodologías de calidad	
Investigación documental	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 10013:2021 sistemas de gestión de la calidad orientación para la información documentada • Diagramas de flujo de procesos y mapas • Cómo elaborar y usar los manuales administrativos” (Rodríguez Valencia)

La ISO 21001:2018 publicado por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y establece requisitos para un sistema de gestión de calidad para organizaciones educativas, incluyendo el cumplimiento con requisitos legales y reglamentarios; procesos de mejora continua, garantizando la conformidad y el incremento de la satisfacción de los estudiantes. Aplica a las organizaciones educativas formales de distintos niveles (básica, media y superior). ISO 21001 promueve la adopción de un enfoque basado en procesos para mejorar el aprendizaje, el cual permite gestionar un sistema que contribuye a la eficiencia de la organización para lograr los resultados esperados, cumplir con los objetivos y alcanzar las metas planificadas. Para de alguna forma tener los pasos de este método la ISO 21001 así como todas las ISO's se basa en el ciclo Planificar- Hacer- Verificar- Actuar

Resumen de Resultados

Una vez obtenida la información en el primer paso **Planificar**: se establecen los objetivos del sistema y sus procesos, y los recursos necesarios para la obtención de resultados de acuerdo con los requisitos de los estudiantes y otros beneficiarios y las políticas de la organización, e identificar y abordar los riesgos y las oportunidades;

Comprensión de la organización y de su contexto: Para analizar el contexto de la organización se verifico el entorno interno y externo de la misma, determinando primeramente la cadena de valor (Porter, s.f.) a nivel organización, así como el ambiente relevante del departamento objeto de nuestro estudio. Para comprender el contexto de la organización la herramienta que se utiliza fue con el FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) en esta matriz se organizó todos los datos obtenidos en la investigación del entorno interno y externo de la organización a fin de comprender para luego sea de ayuda a la toma de decisiones.

Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas: En este paso como ya se tiene una comprensión del entorno interno y externo que afecta la organización y con ayuda del anexo C de la norma la Figura 1 da una clasificación de las partes interesadas en las organizaciones educativas, se definieron las partes

involucradas en el sistema de gestión de la institución, así como se definieron las necesidades y expectativas de las mismas vaciándolas en una tabla o cuadro comparativo que permitan visualizarlas

Determinación del alcance del sistema de gestión para organizaciones educativas: Se determinó el alcance del sistema de gestión basado en ISO 21001 que en este caso: Servicios Escolares

Sistema de gestión para organizaciones educativas (SGOE): Así mismo de acuerdo a la norma se determinó los procesos necesarios sus entradas y salidas, así como las interacciones en la organización

Liderazgo y compromiso: Para que un sistema de gestión sea exitoso además de la cooperación de todas las partes involucradas en este paso se pide el compromiso por parte de la máxima autoridad en la organización tomando conciencia de todo lo que conlleva para poder guiar en este proceso. La Institución deberá guiar a los involucrados y demostrar que cumple con su postura de ser líder y tener compromiso al sistema de gestión de calidad realizando lo siguiente: a) Establecer una Política de Calidad: Se estableció la política de la organización Educativa de acuerdo a los requisitos de la norma, haciendo partícipes a los involucrados, b) Establecer Funciones, responsabilidades autoridades de la organización: Se creó el perfil de puestos de la persona encargada de Servicios Escolares.

Tener una Planificación: En este paso se retoma la parte del contexto de la organización, las necesidades y expectativas establecida de las partes interesadas y se determinan los riesgos y oportunidades a fin de abordarlos

Establecer Acciones para abordar riesgos y oportunidades: Se realiza un análisis de criticidad de riesgo retomando el FODA solo en la parte de Oportunidades Amenazas que corresponden al análisis de la organización, así como determinar el impacto y posibles acciones para minimizar usando una matriz de probabilidad y de impacto, también conocida como matriz de riesgo.

Establecer Objetivos de la organización y planificación para lograrlos: Se define con el área y a consenso de los involucrados los objetivos del área de Servicios Escolares, así como su planificación

Realizar la Planificación de los cambios: En este paso se requiere el compromiso de los interesados en realizar de manera planificada cualquier cambio que se acuerde en el área.

Como segundo paso fue el **Hacer: implementar lo planificado**; para implementar lo planificado Incluir en la caracterización de cada proceso qué recursos humanos, materiales, financieros, de infraestructura, de ambiente de trabajo, se necesitan para el SGOE.

Operación: En este paso se planifican implementan y se mantendrán controlados en el futuro los procesos necesarios para la correcta prestación del servicio según lo definido en el diagrama y la tabla del apartado 4.4. así como las acciones determinadas en el capítulo 6.1 de la norma ISO 21001. En los pasos siguientes se procede a detectar los procesos con ayuda de los mapas de procesos realizar los procedimientos que a criterio de la organización son clave para la correcta implementación del SGOE. En este paso se puede hacer uso del libro “Como Elaborar y usar los manuales administrativos” (Rodríguez, 2012) explica que para elaborar manuales se debe apoyar en diversas técnicas como son: Investigación documental, Observación Directa, Observación Indirecta, Encuesta, Entrevista, Análisis de estructuras, Análisis de Estructura procedimental, Organigrama, Diagrama de flujo, y Gráfica de proceso.

Planificación y control operacional: Establecer procedimientos de los programas educativos, programas especiales, Plan de desarrollo institucional determinando Qué se va a ofertar en los programas educativos.

Requisitos para los productos y servicios educativos: Procedimiento de admisión donde se especificará como se va a difundir la oferta académica.

Diseño y desarrollo de los productos y servicios educativos: Acreditación de los productos que ofrece el instituto.

Control de los procesos, productos y servicios suministrados externamente: Insumos externos catedráticos externos.

Prestación de los productos y servicios educativos: Implementar los procedimientos referentes a lo que oferta la organización y que servicios presta.

Liberación de los productos y servicios educativos: Proceso de certificación y expedición de títulos

Control de las salidas educativas no conformes: Elaborar procedimientos de no conformidades y las correcciones, contenciones

En el tercer paso **Verificar** se propone realizar el seguimiento y si es aplicable la medición de los procesos y los productos y servicios resultantes respecto a las políticas, los objetivos, los requisitos y las actividades planificadas, e informar sobre los resultados

Evaluación del desempeño: La organización determinará los procesos a los que se les dará seguimiento y se medirán, en cuanto tiempo y evidenciar los resultados

Seguimiento, medición, análisis y evaluación: En este paso se pretende que el área en conjunto con la Dirección establezca que procesos quiere medir y establecer los indicadores o métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación para asegurar que se obtengan resultados válidos. Cuando realizara el seguimiento

Auditoría Interna: La organización en conjunto con los involucrados en el SGOE del área realizara uno o varios programas de auditoría que incluyan la frecuencia, los métodos, las responsabilidades, los requisitos de planificación y la elaboración de informes, que deben tener en consideración los objetivos de SGOE, la importancia de los procesos involucrados, los comentarios de las partes interesadas pertinentes y los resultados de auditorías previas;

Revisión de la dirección: La organización definirá como se va revisar y cada cuanto y asegurase así de la eficacia del mismo

Por último, en el cuarto paso *Actuar* se toman acciones para mejorar el desempeño, cuando sea necesario.

Mejora: La Institución deberá determinar si existen necesidad u oportunidades resultantes del análisis y la evaluación realizados y considerarlas como parte de la mejora continua

No conformidad y acción correctiva: Reaccionar ante la no conformidad, cuando sea aplicable: tomar acciones para controlarla y corregirla y hacer frente a las consecuencias;

Mejora continua: Considerar los resultados de las mediciones, los análisis y evaluaciones y determinar si hay mejoras a realizar

Oportunidades para mejorar: Las mejoras pueden incluir corrección, acción correctiva, mejora continua, cambio repentino, innovación y reorganización

Como resultado de este trabajo se realizaron en forma, de manera controlada y contenidos en un manual de procedimientos del área: 22 Procedimientos, 17 Flujogramas, 8 Información Documentada, 4 Planes, 1 Registro y Control de documentos. El detalle del manual se expone en el Apéndice 1.

Comentarios Finales

El presente trabajo es un punto de partida muy importante dentro de la institución para que se desarrolle en un futuro cercano un sistema de Gestión de Calidad basado en ISO 21001 que se extienda a toda la institución con el fin de brindar la calidad que se pretende y obtener en forma dicha certificación.

Con la Estandarización de procesos dentro del área se pretende minimizar en gran medida los problemas y preocupaciones por parte del personal y hacer sus funciones más ágiles.

Referencias

- AENOR. (s.f.). ISO 21001 Unificar criterios de gestión en organizaciones educativas.
- Camison, C., Cruz, S., & González, T. (s.f.). Gestión de la Calidad: Conceptos, enfoques, Modelos y Sistemas. Prentice Hall.
- CARRERA ENDARA, C. F., LIGÑA CUMBAL, C. H., MORENO CUEVA, G. R., & MORALES CARRERA, R. (2018). Sistemas de Gestión de calidad. Guayaquil-Ecuador: Grupo Compas.
- Chile, D. (2019). GUÍA DE HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE RECURSOS PERSONALES EN EQUIPOS DIRECTIVOS. Gobierno de Chile: División Educación General.
- CNDH. (07 de junio de 2018). Ley de Educación para el Estado de Sonora. Obtenido de <https://www.cndh.org.mx/>
- Contreras Contreras, F., Olaya Guerrero, J. C., & Matos Uribe, F. F. (2017). Gestión por procesos, indicadores y estándares para unidades de información. Lima-Perú: Biblioteca Nacional del Perú.
- Días Moreno, J. P. (2017). Guía para implementar un Sistema de Gestión de Calidad. México: librerías Gandhi.
- Dra. Leticia Cuevas Guajardo, D. D. (2012). Breve historia de la enfermería en México. REVISTA ELECTRÓNICA DE INVESTIGACIÓN EN ENFERMERÍA FESI-UNAM.
- Enrique Ogliastrì, P. D. (s.f.). MANUAL DE PLANIFICACION Siete modelos para hacer un plan estratégico. INCAE Business School .
- INEGI. (s.f.). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/>
- INEGI & CONACYT. (2017). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/enpecyt/2017/>
- López Lemos, P. (s.f.). CÓMO DOCUMENTAR UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD SEGÚN ISO 9001:2015. Madrid: FUNDACIÓN CONFEMETAL.
- MANES, J. M. (2014). Gestión estratégica para Instituciones Educativas. México: Granica.
- Rodríguez, V. J. (2012). Como elaborar y usar los manuales administrativos. Cengage Learning.
- Ruiz, K. Y. (2021). Coronavirus 2020: Situación de Enfermería en México. Cuidarte. Obtenido de <http://revistas.unam.mx/index.php/cuidarte/article/view/78046>
- Secretaría Central de ISO en Ginebra, S. (s.f.). ISO 21001 2018-05. Obtenido de iso.org

Apéndice 1. Información documentada

Tipo	Nombre del Documento	Código	Versión
Flujograma	Admisión Inscripción o Reinscripción	FL-DESE_INSC-00/2022	00
Información	Admisión inscripción o reinscripción	IN-DESE_INSC-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Admisión Inscripción o Reinscripción	PE-DESE_INSC-00/2022	00
Plan	Afrontar Riesgos y Oportunidades	PL-DESE_RIOP-00/2022	00
Procedimiento General	Atención en ventanilla	PG-DESE_VENT-00/2022	00
Plan	Auditoria	PL-DESE_AUDI-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Autenticación de documentos académicos de Posgrado: Títulos, certificados parciales y /o totales Casos Especiales	PE-DESE_APOS-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Autenticación de documentos académicos Licenciatura	PE-DESE_AUTE-00/2022	00
Flujograma	Autenticación y Certificación de Documentos Académicos y validación de antecedente bachillerato	FL-DESE_ACVC-00/2022	00
Flujograma	Baja Institucional	FL-DESE_BAJI-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Baja Institucional	PE-DESE_BAJI-00/2022	00
Flujograma	Baja Voluntaria Temporal o Definitiva	FL-DESE_BAJV-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Baja Voluntaria Temporal o definitiva	PE-DESE_BAJV-00/2022	00
Política	Calidad	PT-CDIR_CALI-00/2022	00
Manual	Calidad ISO 21000	MA-DESE_CISO-00/2022	00
Flujograma	Captura de calificaciones control y registro en historial académico	FL-DESE_CALI-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Captura de calificaciones control y registro en historial académico	PE-DESE_CALI-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Certificación de Antecedentes Académicos y Expedición de Cédula Profesional de Posgrado	PE-DESE_CPOS-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Certificación de Antecedentes Académicos y Expedición de Cédula Profesional Licenciatura	PE-DESE_CERT-00/2022	00
Flujograma	Certificado, título y Cedula Electrónica	FL-DESE_ELEC-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Certificado, título y Cedula Electrónica	PE-DESE_ELEC-00/2022	00
Plan	Comunicación de Servicios Escolares	PL-DESE_COMU-00/2022	00
Registro	Control de documentos	RE-DESE_DOCS-00/2022	00
Información	Cuestionario Egresado Trayectoria 3 y 5 Años	IN-DESE_EGTR-00/2022	00
Información	Cuestionario recién Egresado al momento de graduarse y 12 meses después	IN-DESE_EGST-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Dispensa por violación de ciclos A)	PE-DESE_VIOA-00/2022	00
Flujograma	Dispensa por violación de ciclos A), B), y C)	FL-DESE_VABC-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Dispensa por violación de ciclos B)	PE-DESE_VIOB-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Dispensa por violación de ciclos C)	PE-DESE_VIOC-00/2022	00
Plan	Egresados	PL-DESE_EGRE-00/2022	00
Flujograma	Elaboración de la estadística 911	FL-DESE_ESTA-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Elaboración de la estadística 911	PE-DESE_ESTA-00/2022	00
Procedimiento General	Elaboración y codificación de documentos	PG-DIRG_CODI-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Emisión de documentos diversos	PE-DESE_DODI-00/2022	00
Flujograma	Emisión de Credencial Estudiante	FL-DESE_CRED-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Emisión de Credencial Estudiante	PE-DESE_CRED-00/2022	00
Flujograma	Emisión de documentos diversos	FL-DESE_DODI-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Entrega de documentos egreso y documentos propiedad del alumno	PE-DESE_ENTR-00/2022	00
Flujograma	Entrega y registro en libros de documentos egreso y documentos propiedad del alumno	FL-DESE_ENTR-00/2022	00
Información	FODA 2022	IN-DESE_FODA-00/2022	00
Flujograma	General para la atención en Ventanilla	FL-DESE_VENT-00/2022	00
Información	Información General de Recursos, Competencia, Toma de Conciencia e Información Documentada	IN-DESE_APOY-00/2022	00
Información	Objetivos de la organización educativa y planificación para lograrlos	IN-DESE_OBJE-00/2022	00
Flujograma	Otorgamiento de becas	FL-DESE_BECA-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Otorgamiento de becas	PE-DESE_BECA-00/2022	00
Información	Seguimiento, medición, análisis y evaluación	IN-DESE_MED-00/2022	00

Flujograma	Seguro escolar contra accidentes	FL-DESE_SEGU-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Seguro escolar contra accidentes	PE-DESE_SEGU-00/2022	00
Flujograma	Servicio Social	FL-DESE_SERV-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Servicio Social	PE-DESE_SERV-00/2022	00
Información	Servicios Escolares	IN-DESE_FUNC-00/2022	00
Flujograma	Simplificado para Certificados, títulos y cedula	FL-DESE_SIMT-00/2022	00
Procedimiento Especifico	Validación del antecedente académico Licenciatura	PE-DESE_VAAN-00/2022	00

Aplicación de DMAIC para la Solución de Rayado Vertical en la Industria Textil

Ing. Victor Manuel Sánchez Rodríguez¹, Dr. Marco Antonio Meraz Melo²

Resumen: El presente artículo se centra en la importancia que tiene el DMAIC en los procesos de manufactura para la mejora de calidad, particularmente para resolver problemas de rayado vertical en la industria textil, así como el uso de herramientas estadísticas que se pueden utilizar en cada una de sus etapas de desarrollo (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), resaltando el impacto para la solución de problemas, ventajas de utilizarla y la disminución de desperdicios. Mediante este caso práctico en el cual se utilizó esta filosofía en una industria textil de la región de Huejotzingo, Puebla podremos observar las ventajas de utilizarla.

Palabras clave: Calidad, Procesos, Mejora Continua, DMAIC, Industria.

Introducción

La mejora continua es un tema primordial en la mayoría de organizaciones que buscan mejorar sus procesos de producción y gestión para seguir siendo competitivos dentro de cada uno de sus mercados. Según el artículo: “Aplicación de Six Sigma y DMAIC para la reducción de defectos en el proceso de manufactura de guantes de goma” (Ploytip Jirasukprasert, 2014) menciona que tanto las necesidades de los clientes, como la competencia entre industrias del mismo rubro han forzado a los organismos a mejorar la calidad de sus productos y servicios con el fin de tener ventaja sobre sus competidores. En el caso particular de la manufactura de guantes de goma tuvo que mantener la calidad de sus productos para ser competentes en el mercado.

Por ello es necesario encontrar formas de reducir costos de producción, aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos. Es por esto que en el mundo se han propuesto diversas estrategias y herramientas de mejora con el fin de satisfacer las necesidades de cada organización. Mencionando un ejemplo de estas se encuentran la Gestión de la Calidad Total, el Mantenimiento Productivo Total (TPM), Lean Manufacturing y Six Sigma.

El concepto de Lean Manufacturing o también llamado Sistema de Producción Toyota, se centra en el flujo de procesos. Hook Especificó los principales componentes de sistema de gestión de la siguiente manera:

Identificar el valor del proceso desde la perspectiva del cliente. (Hook, 2008)

Identificar el flujo de valor de cada producto y eliminar todos los tipos de residuos que se encuentran en el proceso de producción.

Intentar desarrollar un proceso de producción continuo.

Desarrollar la técnica de gestión pull en las líneas de producción.

Gestionar hacia la perfección.

El modelo de DMAIC particularmente es parte de la metodología Six Sigma la cual se basa en datos que se utilizaran para identificar las causas raíz de las variaciones en los procesos de producción. Las estrategias de Six Sigma requieren de la mejora de procesos mediante la identificación de problemas, las causas raíz, el rediseño y reingeniería de procesos, así como su gestión. Es aquí cuando entra DMAIC la cual Define, Mide, Analiza, Mejora del inglés Improve y Controla.

Bajo la idea de este modelo existen herramientas estadísticas de mejora como lo son: El diagrama de causa efecto, diagrama de Pareto, diseño de experimentos, análisis de Varianza o ANOVA. Algunas de estas herramientas fueron usadas dentro del área de tejido circular de una empresa textil poniendo atención a la filosofía y principios de los mismos que benefician e impactan positivamente en el desarrollo de la organización y su proceso de manufactura.

Descripción el método

Six Sigma se centra en las características que son relevantes para los clientes identificando y eliminando los defectos, errores o fallas que afectan los proceso o sistemas. (Bailey, 2001) Comenta que entre los enfoques de mejora más utilizados Six Sigma es el que presenta un mayor historial de eficacia. Por eso diversos autores sostienen que la aplicación de esta filosofía tiene diversos beneficios como lo son la reducción de costos, mejora de tiempos de ciclo, eliminación de defectos, aumento de la satisfacción del cliente, en este caso particular el cliente será el departamento

¹ El Ing. Victor Manuel Sánchez Rodríguez es estudiante de posgrado en el Instituto Tecnológico de Puebla, México M14220933.61@puebla.tecnm.mx (autor corresponsal)

² El Dr. Marco Antonio Meraz Melo es docente en el Instituto Tecnológico de Puebla, México marco.meraz@puebla.tecnm.mx

de calidad, así como los procesos de acabado de la tela: teñido, estampado, afelpado, etc. Los cuales exigen productos (tela) de la mejor calidad sin defectos para que no tengan consecuencias de gravedad en sus procesos y en la entrega de un producto final a un cliente externo; ya que al tener un defecto de calidad desde el proceso de tejido que se va arrastrando hasta la entrega del mismo afectará al prestigio de la compañía y como mencionábamos al principio del texto disminuiríamos el nivel de competencia dentro del sector textil dando la oportunidad a otras organizaciones a sobresalir en el mercado.

Six Sigma también se podría utilizar en los procesos o áreas de logística, compras, aspectos legales, recursos humanos, así como desarrollar nuevos modelos de negocio. El personal de la organización estudiada desarrollo competencias en el uso de las herramientas y técnicas que les llevo a mejorar sus conocimientos y habilidades para la solución de problemas.

Centrándonos a DMAIC y sus cinco fases interconectadas se definen las fases brevemente a continuación.

- Definir: Consiste en definir el papel del equipo, el alcance y los límites del proyecto, requisitos y expectativas del cliente y objetivos de los proyectos seleccionados. (Gijo, Scaria, & Antony, 2011)
- Medir: Incluye la selección de los factores de medición y la provisión de una estructura para evaluar el rendimiento actual, así como la evaluación comparación y seguimiento de las mejoras posteriores y su capacidad. (Stamatis, 2004)
- Analizar: Determina la causa raíz de los defectos o problemas en la comprensión de por qué han ocurrido, así como las oportunidades de mejora. (Adams & Gupta, 2003)
- Mejorar: Se centra en el uso de la experimentación y técnicas estadísticas para generar posibles mejoras que reduzcan la cantidad de problemas y/o defectos de calidad. (Omachunu, 2004)
- Controlar: Es la última etapa del proceso DMAIC garantizando que las mejoras se mantengan y que se supervise el rendimiento continuo. Las mejoras también se documentan e institucionalizan. (Stamatis, 2004)

Proceso de tejido circular.

El tejido circular se lleva a cabo mediante máquinas de la marca Mayer & Cie, las cuales su funcionamiento está basado en el tejido de punto el cual se divide según la alimentación de la materia prima. Este es el primer proceso que se lleva a cabo dando como resultado la materia prima para los procesos de acabado en la industria textil los cuales fungirán como nuestros clientes internos.

Específicamente para nuestro caso particular utilizaremos el tejido de punto por trama en sentido transversal, donde un solo hilo alimenta todas las agujas en donde:

- Las mallas se forman horizontalmente.
- Las mallas se unen uno al lado de otro en la misma pasada.
- Las conexiones son horizontales.
- Tejido fácil de destejer.

Asimismo, el tejido de punto por trama se subdivide por la forma de construcción de las maquinas en: maquinas rectilíneas y maquinas circulares.

Las maquinas circulares se clasifican por sus características y propiedades. Cada tipo se identifica de la siguiente forma: (Hollen, 2007)

- De pequeño diámetro: de 3 a 6 pulgadas de galga fina
- De mediano diámetro: desde 6 hasta 14 pulgadas
- De gran diámetro: de 14 hasta 36 pulgadas, de una y dos fonturas de agujas, y desde una hasta cuatro carreras de levas para ligamentos de tejidos, de selección fija.
- Con sistema de selección Jacquard: para dibujos por sistema de diseño, por medio de peines selectores, ruedas de selección, cartas Jacquard, cintas perforadas y metálicas, hasta computarizadas.
- Composición de agujas alternadas: tipo rib y coincidentes en ambas fonturas tipo interlock para tejidos elásticos.
- Con filetas de porta conos: fijos sobre la misma máquina, con filetas rotativas y filetas de bastidor para maquinas con 60 o más alimentadores.
- Con plegador de rollos: de tela en forma tubular o de tela abierta cortadas en la propia máquina.
- Maquinas listadoras: Con dispositivos de selección, de hilos de diferentes colores para cada alimentador que producen telas con rayas amplias.

Con conocimiento de lo anterior una máquina circular básica está compuesta por un cilindro y un disco ranurados en el que se colocan todas las agujas en cada ranura, las cuales quedan casi paralelas unas a otras. Tenemos entonces dos fonturas circulares, las cuales son recorridas por el carro el cual al no encontrarse nunca con un extremo avanzará siempre en el mismo sentido formando el tejido.

El resultado final de máquinas las circulares son tejidos tubulares (cerrados). También, tienen diversos dispositivos, usados para una mejor calidad del punto, como pueden ser los cepillos o punzones, que se encargan de abrir las lengüetas, o bien las prensas que tiene como función evitar las remontadas del tejido. Una máquina circular, podrá hacer tantas pasadas como tantos juegos tenga, de tal forma que las pasadas, se superpondrán una encima de la otra, describiendo una espiral sin fin, que forma el tubo de tejido.

Aplicación de DMAIC (estudio de caso)

En esta sección se presenta la aplicación del DMAIC en el proceso de tejido circular de una organización textil, dividiendo cada una de las cinco etapas de esta herramienta para la mejora del proceso y la solución del problema de rayado vertical.

En la etapa de “Definir” que tiene como objetivo definir los alcances y límites del proyecto, así como sus objetivos. El primer paso fue definir el equipo de trabajo, el cual estaba conformado por el Director General de la organización, el Gerente de tejido circular, el Coordinador de producción, el Jefe de mantenimiento, el Jefe de inspección, así como el colaborador más experimentado del equipo de mantenimiento mecánico. Seguido de haber conformado el equipo de trabajo se estableció el objetivo del proyecto el cual se definió como: Reducir tiempos muertos en el área de tejido circular causados por defectos de rayado vertical.

El rayado vertical, Figura 1; es un defecto de calidad que se presenta recurrentemente en el área de tejido circular lo cual propicia paros de producción, mantenimientos correctivos, que se derivan en tiempos muertos y actividades que no agregan valor, de igual manera genera rechazos por el área de calidad que derivan en material no conforme que se convierte en scrap ya que no puede haber un re trabajo del mismo.



Figura 1. Ilustración de rayado vertical. Elaboración propia

En esta misma etapa de definir la cual nos ayudará a establecer los alcances y limitaciones del proyecto, así como sus objetivos se indicó el límite del proyecto el cual consistió en fijar como experimento un solo modelo de tela la cual fue seleccionada mediante los reportes de fallas de calidad. Por último, se hizo uso de la primera herramienta la cual fue “Carta Proyecto” en esta se establece la descripción del proyecto, el alcance, objetivo, el papel de los integrantes del equipo para asegurar la participación y asentando de manera escrita la realización de este proyecto de mejora.

La etapa siguiente es la de “Medir” la cual consiste en establecer métricas confiables que ayuden a supervisar el progreso del proyecto enfocado en reducir tiempos muertos por fallas de calidad, específicamente el rayado vertical, y la etapa de “Analizar” que mediante sus herramientas podremos determinar la o las causas raíz; ambas etapas se hicieron de manera simultánea; comenzando con una lluvia de ideas por parte del equipo de trabajo se hizo uso de la herramienta diagrama causa efecto o diagrama de Ishikawa el cual utiliza cinco categorías principales: Maquinaria, Mano de obra, Método, Material y Medio Ambiente (Dale, Wiele, & Iwaarden, 2007) nos servirá para determinar las principales causas por las que se produce este defecto. Figura 2.

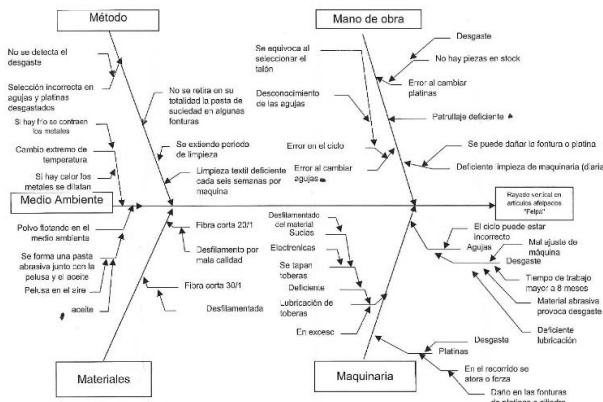


Figura 2. Diagrama de Ishikawa

Después de realizar el diagrama de Ishikawa se llevó a cabo un diagrama de Pareto con el fin de encontrar la posible causa o causas raíz del por qué se produce el defecto de rayado vertical, Figura 3. El cual nos arrojó que las posibles causas raíz son:

- Suciedad en medio ambiente
- Desgaste de agujas
- Mal ajuste de la maquina
- Falta de capacitación y distracciones del operador

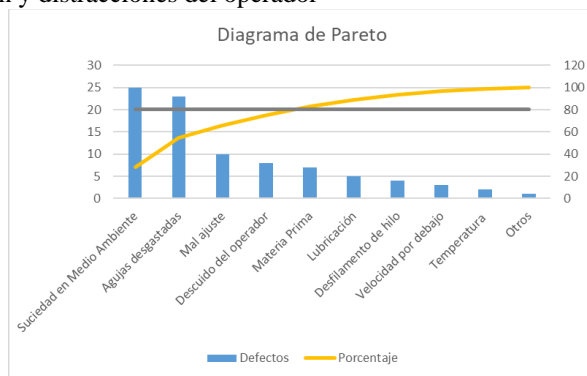


Figura 3. Diagrama de Pareto

En la etapa de “Mejora” después de haber determinado las causas raíz tiene como objetivo identificar las soluciones de las mismas las cuales consistieron en lo siguiente:

Para la suciedad en el medio ambiente se tomó la solución de realizar una limpieza inicial (Figura 4) y profunda a los equipos, la suciedad provoca que se forme pelusa la cual se impregna en el hilo que está alimentando el proceso, esto causa reventes y desgaste en agujas, de igual manera se tomó la decisión de cambiar el tipo carrete a porcelanas que ayudara a tener menos desfilamento de hilo que dará paso a una menor cantidad de contaminación en el ambiente.

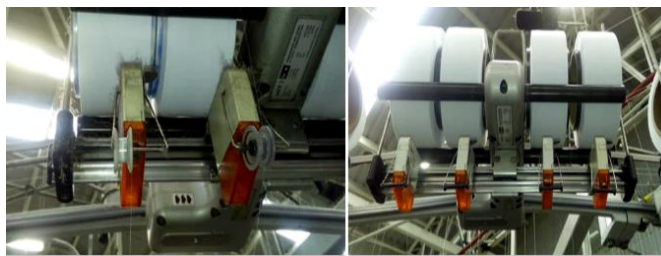


Figura 4. Antes y después de limpieza

Esto dio como resultado una disminución en el número de revientes por rollo de tela que paso de 6 revientes por rollo a máximo 1 reviente por rollo, lo cual implica un aumento de calidad del 83%.

En cuanto al desgaste de agujas está muy implícito en la toma de acciones anterior, en cambio se realizaron apoyos visuales para la detección de estas (Figura 5), ayudando también al problema de la mano de obra, esto ayudara al operador a poder cambiar de manera eficaz esta aguja, sin tener que llamar a una persona del equipo de mantenimiento, reduciendo tiempo en la intervención por actividades correctivas.

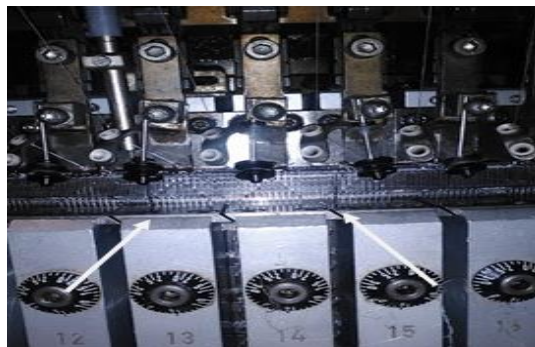


Figura 5. Detección de agujas desgastadas

Por ultimo en la etapa de “Control” se llevó a cabo mediante hojas de verificación el cual busca mantener los equipos en estado óptimo, buscando mantener las mejoras implementadas para solución del problema de rayado vertical, estos formatos consisten en inspecciones rutinarias por parte del equipo de mantenimiento, así como formatos de entrega de turno para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos con el fin de mantener siempre equipos limpios y funcionando a las velocidades y ritmo de producción necesarias y establecidas que repercutirán en productos conformes a calidad.

Comentarios Finales

Resultados

Mediante la aplicación del modelo DMAIC y las herramientas propias de cada etapa se redujeron tiempos muertos derivados a las acciones correctivas que se llevaban a cabo para la solución del problema de rayado vertical que se producía de manera concurrente en el proceso de manufactura de esta organización textil, específicamente en el tejido circular.

Este problema de rayado vertical era una constante de 6 paros por máquina, después del uso y aplicación de las herramientas del modelo DMAIC (Gráfica 1) se redujo a un intervalo de 0 a 1 paros por máquina.



Gráfico 1. Paros promedio de producción

Este cambio repercute directamente al aumento de productos conformes de calidad y en la reducción de costos de producción que para la organización es un gran paso hacia adelante en cuanto al deseo de mejorar sus procesos y seguir con la mejora continua; todo esto para buscar certificaciones que le permitan expandir su mercado y ser más rentables.

Conclusión

Este documento presenta un estudio de caso simple en el cual se llevó a cabo una reducción de desperdicios mediante la aplicación de la herramienta DMAIC, usando herramientas de calidad como lo son Diagrama de Ishikawa, Pareto, Carta Proyecto y Hojas de verificación en cada uno de las etapas del proceso, se centró en un solo producto para ver el impacto que tenía la implementación de estas herramientas la cual fue positiva en cuanto horas en las que se mantenía parada la máquina y repercute directamente en ahorros monetarios. Esta metodología ahora será llevada a los diferentes productos que se manufacturan en el área de tejido circular, se espera que próximamente se lleve a cabo en otras áreas de tejido como el tejido plano o el de cintas, así como a las diferentes áreas de acabado con el fin de convertir a esta organización Textil a una organización líder dentro del mercado nacional e internacional.

Referencias

- Adams, C., & Gupta, P. y. (2003). Six Sigma Deployment. Elsevier Science, Burlington, M.A.
- Bailey, S. (2001). Six Sigma a breakthrough strategy or just another fad. Annual Quality Congress Proceedings Vol. 14, 92-99.
- Dale, B., Wiele, T., & Iwaarden, J. (2007). Managing Quality 5ta edicion. Oxford: Blackwell Publishing Lid.
- Gijo, E., Scaria, J., & Antony, J. (2011). Application of Six Sigma methodology to reduce defects of a grinding process. Quality and Reliability Engineering International VOL. 27 No, 8, 1221-1234.
- Hollen, N. (2007). Introduccion a los textiles. México: Limusa.
- Hook, M. y. (2008). Lean Principles in industrialized Housing Production: the Need for a Cultural Change. Lean Constuction Journal, 20-33.
- Omachunu, V. y. (2004). Principles of Total Quality. En 3ra ed, CRC Press LLC. Boca Raton, FL.
- Ploytip Jirasukprasert, J. A. (2014). A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. International Journal of Lean Six Sigma , 2-21.
- Stamatis, D. (2004). Six sigma Fundamental: Acomplete Guide to the system, methods and tools. Productivity Press, Nueva York, NY.

Apéndice

El presente documento responde a las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo poder solucionar el defecto de rayado vertical?
2. ¿Qué metodología de calidad utilizaremos?
3. ¿El modelo es fácil de entender?
4. ¿Qué se espera con la aplicación de este método?
5. ¿Cuáles fueron los resultados?

Efecto del Compostaje Orgánico en las Características del Cultivo de Tomate Verde (*Physalis ixocarpa*)

Dra. Claudia Santacruz Vázquez¹, Dra. Santa Toxqui López², Dra. Verónica Santacruz Vázquez³,
Ing. María Inés Rivera Cote⁴, Ing. Anel Stefanía Morales Olivares⁵

Resumen—En la actualidad la tendencia a consumir productos orgánicos ha incrementado de una manera exponencial, no solo por reducir la implementación de fertilizantes y plaguicidas en nuestros productos, sino también de buscar una mejor alimentación y que esta sea amigable con el medio ambiente, es por ello que la implementación de compostas durante la siembra de vegetales como el tomate verde (*Physalis ixocarpa*), ayudará a reducir el uso de productos químicos. Por lo que el objetivo del presente trabajo es implementar el uso de abono orgánico de composta como alternativa de uso de un fertilizante en plantas de tomate para mejorar las características del cultivo en estudio.

Palabras clave— agricultura, abono, compostaje, cultivo, tomate.

Introducción

Actualmente en nuestro país el uso de fertilizantes de naturaleza mineral, está muy difundido por ser considerado técnicamente como un factor importante en la producción de cosechas; asimismo, es necesario hacer la siguiente reflexión; es el abuso de elementos químicos a largo plazo causante de efectos negativos en los suelos agrícolas. Por lo que es necesario buscar otras opciones de incorporar elementos para la nutrición de las plantas cultivadas; es el caso del empleo de abonos orgánicos provenientes de estiércoles de diferentes especies domesticas; así como, de residuos de materia orgánica que al ser incorporados al suelo son descompuestos por los microorganismos presentes en el mismo (Longoria, 2000) La demanda de alimentos producidos sanamente va en aumento en el mundo, consecuentemente la agricultura orgánica como práctica que permite la garantía al consumidor de un producto sano también va en aumento. La principal característica de este tipo de agricultura es el uso de insumos de origen natural para cubrir los requerimientos nutricionales y aquellos que van destinados al control de las plagas y enfermedades de los cultivos. Particularmente los fertilizantes, abonos y biofertilizantes orgánicos son parte primordial en la producción agrícola orgánica. Son insumos que no contienen agroquímicos con efectos residuales y que no deben causar ningún efecto negativo a la salud humana. Debido a su origen natural se caracterizan por contener menores cantidades de nutrientes comparados a los fertilizantes sintéticos, sin embargo, poseen la cualidad de ser más integrales en su acción benéfica. De esta manera, los biofertilizantes lo constituyen principalmente microorganismos benéficos cuya acción facilita la asimilación de nutrientes por la planta, fomentando la población de los mismos en el suelo permaneciendo a lo largo del cultivo y manteniendo poblaciones en el suelo aun después de terminado el ciclo del cultivo. Los fertilizantes y abonos orgánicos están mejor representados por la composta sus derivados (lixiviados, té y extractos) y la lombricomposta. Las ventajas del uso de este tipo de abono orgánico es su versatilidad en el uso de residuos orgánicos casi de cualquier tipo para su elaboración (Nieto et al., 2010).

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018) da a conocer que el tomate (*Physalis ixocarpa*) es una especie originaria de México, perteneciente a la familia “Solanáceas”. Se le conoce como tomate verde, tomatillo, tomate de cáscara, tomate de milpa o “miltomatl”, este último de origen náhuatl. El tomate *Physalis ixocarpa* es un género americano que se distribuye en Estados Unidos, México, Centroamérica, Sudamérica y las Antillas, con algunas especies presentes en el viejo mundo. El género agrupa cerca de 90 especies, 70 de ellas son endémicas del territorio mexicano, considerado su centro de origen y diversidad. Además del número de especies, la alta riqueza genética del tomate (*Physalis ixocarpa*) en México se expresa en la existencia de poblaciones silvestres, toleradas, fomentadas, cultivadas y domesticadas, asociadas a diferentes tipos de vegetación y condiciones ecológicas

¹ Dra. Claudia Santacruz Vázquez es Profesora Investigadora del Colegio de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. clausanva@yahoo.com.mx (autor corresponsal)

² Dra. Santa Toxqui López es Profesora Investigadora del área de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. stoxqui72@hotmail.com

³ Dra. Verónica Santacruz Vázquez es Profesora Investigadora del Colegio de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. versanva@gmail.com

⁴ Ing. María Inés Rivera Cote. Estudiante de la licenciatura en Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. anivip1234@gmail.com

⁵ Ing. Anel Stefanía Morales Olivares. Estudiante de la licenciatura en Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

(SAGARPA., 2006).

El tomate (*Physalis ixocarpa*) se cultiva comercialmente en casi todas las entidades del territorio mexicano y la producción se destina al mercado nacional e internacional. Su cultivo se realiza con base en variedades nativas o criollas, por lo que es necesario generar variedades mejoradas cada vez de mayor rendimiento para abastecer la demanda de su fruto, ocupa el quinto lugar en superficie sembrada con más de 40,000 ha. entre los cultivos hortícolas (SAGARPA, 2006).

Por otro lado, la composta es el resultado de un proceso de biodegradación de materia orgánica llevado a cabo por organismos y microorganismos del suelo bajo condiciones aerobias. Como resultado de la acción de estos organismos, el volumen de desperdicios se reduce entre un 50 y un 85 por ciento. Este proceso ocurre en la naturaleza sin intervención directa del hombre, por lo que se considera una forma natural de reciclaje (Picó, 2002). Una composta está compuesta por residuos naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. Entre estos se encuentran: restos de residuos vegetales y alimenticios (residuos de café), papeles no aptos para reciclaje que no tengan tintas, pasto, hojarasca, estiércoles de la cría de animales domésticos, residuos de cosechas, aserrines puros o con mezclas de excretas animales, líquidos biodegradables, madera, y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica (UAESP, 2014). El reciclaje de los residuos orgánicos generados en el proceso productivo de una explotación agropecuaria o silvoagropecuaria, convierte los residuos en insumos que pueden regresar al suelo, aportándole nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico (CIC), ayudando así a la rentabilidad de la producción. Desde el punto de vista medioambiental, este reciclaje de materiales y su aplicación al suelo, proporciona muchos beneficios, tales como el incremento de la materia orgánica en el suelo, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, la sustitución de turba como sustrato, la absorción de carbono, el control de la temperatura edáfica y el aumento de la porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación (FAO, 2013). El proceso de elaboración de la composta se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Elaboración de la composta

Los abonos orgánicos son de gran importancia en la agricultura porque elevan el potencial productivo del suelo, actuando como potenciadores de sus características físicas, químicas y biológicas. Además, son fuentes de varios nutrientes esencia - les para las plantas, elevando el potencial de fertilidad del suelo. Los abonos orgánicos también incrementan el desarrollo radicular de las plantas, mejorando el sostenimiento de las mismas, promoviendo la sanidad del cultivo y aportando hormonas que influyen positivamente los mecanismos fisiológicos de las especies vegetales (UAESP, 2014). La composta incluye una gran variedad de componentes, estiércol de animales los cuales pueden ser borregos, vacas, gallinas, conejos, entre otros, ya que resulta ser un elemento de fácil acceso y bastante económico para quienes se dedican a la crianza de animales. Residuos vegetales de tipo agroindustrial y agropecuario, tales como hojarasca. Aserrín como el residuo resultante del proceso de aserrado de la madera, cenizas de madera son los restos orgánicos e inorgánicos de la madera quemada o las fibras de madera blanqueada. Las plumas de pollo cuya incorporación en la producción de bio-abonos mejoran notablemente el contenido de materia orgánica y nitrógeno e influyen positivamente en las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Descripción del Método

Para la realización de este proyecto se siguió una metodología teórica- practica, en la cual se planteó información de interés con respecto al objeto de interés (Planta de tomate), seguido de un análisis y comparación de datos obtenidos durante el transcurso del presente trabajo. El proyecto fue desarrollado en un cultivo traspatio en el municipio de San Mateo Ozolco, Tlaxcala, en la temporada de verano 2022. El proyecto experimental se llevó a cabo en tres etapas fundamentales que se detallan a continuación.

Etapa 1. Elaboración de la composta. Se diseño una pila de compostaje de 25 kilos, la cuál por su composición está clasificada como “Composta aeróbica”. La formulación contiene componentes ricos en carbono como lo son excremento de vaca (40%), excremento de conejo (10%), gallinaza (5%), plumas (5%), hojas (25%), cenizas de madera (5%) y aserrín (5%), así mismo también contiene elementos ricos en nitratos tal como desechos de frutos y vegetales (5%), todos estos materiales fueron colocados subsecuentemente agregando al final el aserrín para evitar los malos olores. Se realizaron volteos periódicos para promover la oxigenación y el control de la temperatura, y una vez alcanzada la etapa de madurez de la composta la cual fue de mes y medio se procedió a tamizar el abono obtenido con la finalidad de retirar todo el material que no alcanzo a degradarse y se pesó. De acuerdo con INTA (2007) la calidad de la composta depende de los componentes utilizados inicialmente. Es recomendable que exista un equilibrio entre aquellos ricos en Carbono y los ricos en Nitrógeno. Se considera que la mezcla ideal para la fabricación de compost debe tener entre 25 y 30 veces más material rico en carbono que en nitrógeno, es decir una relación Carbono/Nitrógeno igual a 30:1. En la presente investigación se utilizó una relación Carbono/Nitrógeno (24/1), similar cercana a la ideal, considerando que mientras se mantenga el equilibrio de ambos factores (Carbono y Nitrógeno), la calidad se mantendrá.

Etapa 2. Elaboración del bioensayo germinativo. En esta etapa de la elaboración de bioensayos, se realizó un aprueba preliminar para analizar la efectividad del abono y la germinación de las semillas a utilizar. Primeramente, se llevó a cabo la prueba germinativa la cual tenía como objetivo probar que las semillas fueran viables para la siembra. Para comprobar esto se utilizaron 5 semillas de tomate verde (*Physalis ixocarpa*), fueron colocadas en suelo de jardín con una porción de composta, fueron regadas y monitoreadas por 3 semanas, en las cuales se observó su crecimiento y desarrollo. Una vez comprobada la efectividad de las semillas se prosiguió a realizar la siembra de las mismas, para lo cual se utilizó tierra fértil, una báscula y abono orgánico en las siguientes proporciones, tal y como se presenta en la Tabla 1.

Tratamiento	Proporción composta/Tierra fértil
R0	Sin composta
R1	1 Kg composta/4 Kg Tierra fértil
R2	2 Kg de composta/ 4 Kg de tierra fértil
R3	3 Kg de composta/4 Kg de tierra fértil
MC	Muestra comercial adquirida en el mercado local

Tabla 1. Tratamientos utilizados en la experimentación

Se procedió a preparar dichas combinaciones en contenedores previamente etiquetados con dos replicas cada una. A fin de estudiar el aporte de la composta en las plantas, siendo la respuesta la altura y crecimiento de las plantas hasta que estas obtuvieran su primer fruto.

Etapa 3. Evaluación del fruto. Al término de la evaluación del crecimiento de la planta, se prosiguió a la evaluación del fruto en sí, para lo cual se recurrió a pruebas experimentales en laboratorio determinando color, textura y pH, esto para una mejor identificación de las posibles mejoras que pudiesen existir en comparación a un fruto comercial. Se realizaron tres tipos de pruebas en los frutos cosechados después de la siembra, con el fin de determinar parámetros de calidad y comparar los tomates comerciales (muestra testigo) con los sembrados y cultivados con la composta. Se realizó la medición de pH con un potenciómetro digital pH-meter, previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4 y 7, para posterior realizar las mediciones con el jugo de tomate. Para la medición de la textura se utilizó un texturometro TA.XTPlusC el cual mediante una punción dentro de la muestra de tomate determinando tres diferentes parámetros, el tiempo de punción (seg), la distancia (mm) y la fuerza de compresión (g), expresando la textura como el cociente entre el Esfuerzo de compresión/Tiempo. La medición de color se realizó con un equipo Hunterlab, en el cual se colocó el tomate en el centro del lente y se cubrió para tener un mejor resultado al momento de la medición, determinando los parámetros L, a y b.

Resultados

En la tabla 2, se presenta el tiempo de emergencia de las plántulas. De la tabla 2, se observa que existe una correlación inversa entre el tiempo de emergencia de la plántula y la proporción de composta/Tierra fértil. Otro de los parámetros de observación para determinar el crecimiento de las plántulas, fue la cantidad de hojas obtenidas en cada una de las plántulas, en función del tratamiento utilizado, observando que el número de hojas y el tiempo de brote de la flor (Valores promedio) se incrementan de acuerdo a la cantidad de composta orgánica agregada.

Tratamiento	Tiempo de emergencia (Días)	Número de hojas promedio obtenidas por cada planta	Tiempo de brote de la flor (Días)
R0	10	36	36
R1	5	57	57
R2	4	74	74
R3	2	81	81

Tabla 2. Tiempo de emergencia de las plántulas, número de hojas promedio por cada plantación, tiempo de brote de la flor de acuerdo a cada uno de los tratamientos experimentales

En la Tabla 3, se presentan datos experimentales que reflejan la calidad del fruto, tales como dimensiones del fruto, pH del fruto.

Tratamiento	Dimensión axial del fruto (cm)	pH de fruto
R0	1.9+0.3	3.88+0.02
R1	2.4+0.5	4.00+0.05
R2	2.8+0.5	3.90+0.04
R3	3.4+0.3	3.98+0.02
MC	2.9+0.5	3.80+0.05

Tabla 3. Dimensión axial del fruto, pH y desviaciones estándar en función de los tratamientos aplicados

A partir de los datos, se puede observar que la planta de tomate al utilizar el tratamiento 3, tiene mayores dimensiones y un mayor pH, comparado con los diferentes tratamientos y el producto comercial.

En la tabla 4, se presentan datos experimentales que reflejan la calidad del fruto, tales como el esfuerzo de compresión, como una medida para determinar la textura del producto, color expresado como parámetro de luminosidad y color (a y b).

Tratamiento	Esfuerzo de compresión (g/s)	Color (L, a, b)
R0	223.50+1.3	46.58, -7.9; 26.74
R1	212.73+1.8	38.77;-7.64;26.51
R2	206.70+0.6.3	46.93;-1.64;21.17
R3	174.17+2.3	49.28;-7.25;29.06
MC	469.47+1.5	46.58;-7.9;26.74

Tabla 4. Esfuerzo de compresión, parámetros de color L, a y b

Como es posible apreciar, la dureza del fruto comercial es mayor comparada con los diferentes tratamientos en los que se aplica la composta, además de presentar una menor dureza del producto en el producto testigo. De manera similar los valores de color expresados como luminosidad (L), a= coordenadas rojo/verde y b=coordenadas amarillo/azul son comparables con el producto comercial. Por lo que el color no es un parámetro que se vea afectado por el uso de los diferentes tratamientos al agregar la composta, no así la textura, donde es posible concluir que la firmeza del producto es menor al utilizar composta orgánica en el cultivo de dicho material vegetal.

Comentarios Finales

La composta tiene múltiples beneficios, aquí te enlistamos algunos de ellos, tales como devuelve los nutrientes a la tierra, controla la erosión y evita el desgaste del suelo causado por el lavado por lluvia, corrige la estructura de los suelos, retiene la humedad y permite el paso del aire., recicla y reduce el volumen de desechos orgánicos, para convertirlos en abono, sirve como antibiótico en contra de microorganismos.

Resumen de resultados

En este trabajo investigativo se determinó el efecto del compostaje orgánico en las características del cultivo de Tomate Verde (*Physalis ixocarpa*). Los resultados de la investigación puede denotar el impacto que tiene la composta en el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate, además de la variación que se muestra entre las proporciones usadas de composta y las plántulas. Respecto al tiempo de emergencia que tuvo cada semilla, se demostró que entre más proporción de composta orgánica, el tiempo de brote de la plántula y la flor era menor. Las pruebas realizadas en cuanto a color, textura, pH son parámetros de calidad en el cultivo de vegetal, mejorando las características del producto obtenido al utilizar 3 Kg de composta/4 Kg de tierra fértil.

Conclusiones

El uso de la composta orgánica contribuye al incremento de materia orgánica de los suelos agrícolas, y por tanto a la mejora de su fertilidad, estructura y retención hídrica, previniendo así su erosión y degradación. Las pruebas realizadas en el producto final, nos ayudan a verificar que los parámetros de calidad son importantes en un producto, ya que son el principal atrayente al consumidor, es por eso que las pruebas de pH, color y Textura nos ayudan a verificar en gran medida los parámetros de aceptación del consumidor.

Recomendaciones

Realizar un monitoreo sobre las condiciones hídricas del cultivo, realizar mayor número de observaciones para realizar pruebas t-pareadas para resaltar la importancia del mejoramiento del cultivo con

Referencias

- A. Johnson, E., & M. Catley, K. (2005). *La vida en la hojarasca*. American Museum of Natural History. Recuperado 30 de diciembre de 2021, de https://www.amnh.org/content/download/35189/518929/file/LifeInTheLeafLitter_esp.pdf
- CONACYT. (2010). *Agricultura Orgánica*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Recuperado 17 de diciembre de 2021, de https://www.ciaorganico.net/documypublic/120_Libro_de_agricultura_organica_TERCERA_PARTE_2010.pdf
- Cascón, J. (1948, junio). *El Estiércol*. Ministerio de Agricultura. Recuperado 29 de noviembre de 2021, de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1948_12.pdf
- Everhart, E., Haynes, C., & Jauron, R. (2003, octubre). *Tomatillos*. Iowa State University. Recuperado 5 de noviembre de 2021, de <https://walworth.extension.wisc.edu/files/2013/01/PM1895S-Tomatillos.pdf>
- FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Recuperado 8 de diciembre de 2021, de <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>Wiley J. y K. Miura Cabrera. "The use of the XZY method in the Atlanta Hospital System," *Interfaces*, Vol. 5, No. 3, 2003.
- Grande Tovar, C. D. (2015). Residuos animales y vegetales. Universidad de San Buenaventura Cali. Recuperado 22 de diciembre de 2021, de <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4591/1/9789588785660.pdf>
- Garzón Marín, G., & López Botía, F. (2005, noviembre). Uso de aserrín y acículas como sustrato de germinación y crecimiento. Redalyc. Recuperado 29 de diciembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/4239/42393957008.pdf>
- Hernández Hernández, A. (2013, septiembre). *La composta, su elaboración y beneficio*. UAAAN. Recuperado 17 de diciembre de 2021, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1265/LA%20COMPOSTA%2C%20SU%20ELABORACION%20Y%20BENEFICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Intagri. (s. f.). *Cultivo de Tomate Verde | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/cultivo-de-tomate-verde>
- Longoria Garza, C. (2000, julio). Fertilización orgánica con estiércol bovino en diferentes fechas y dosis de aplicación en maíz blanco hualahuises. Uanl. Recuperado 23 de noviembre de 2021, de <http://eprints.uanl.mx/6353/1/1080095037.PDF>
- Ortiz Cuara, F. G. (2005, 27 octubre). Manual de elaboración de composta. metrocert. Recuperado 9 de diciembre de 2021, de https://www.metrocert.com/files/Manual_de_elaboracion_de_composta.pdf
- Physalis patula* - ficha informativa. (s. f.). Conabio. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/physalispatula/fichas/ficha.html>
- Ramos Alvadiño, C. (2003, 24 octubre). Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. Redalyc. Recuperado 15 de diciembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620586010.pdf>
- Tomate Verde (Physalis ixocarpa)*. (s. f.). Naturalista. <https://www.naturalista.mx/taxa/61375-Physalis-ixocarpa>
- UAESP. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Bogotá Mejor Para Todos. Recuperado 11 de diciembre de 2021, de https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

Zamora-Tavares MDP, Sandoval-Padilla I, Chávez Zendejas A, Pérez-Alquicira J, Vargas-Ponce O. Complete chloroplast genome of *Physalis chenopodifolia* Lam. (Solanaceae). Mitochondrial DNA B Resour. 2019 Dec 11;5(1):162-163. doi: 10.1080/23802359.2019.1698364. PMID: 33366468; PMCID: PMC7720949

Notas Biográficas

Dra. **Claudia Santacruz Vázquez**, es profesora investigadora adscrita al Colegio de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ha publicado más de 20 artículos en revistas indizadas a nivel nacional e internacional, es autora de libros y capítulos de libro, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, es profesora con perfil PRODEP, ha tenido una amplia participación en congresos nacionales e internacionales, además de ser coordinadora del Posgrado en Ingeniería Química. Es especialista en la formulación de proyectos productivos y desarrollo de alimentos funcionales.

Dra. **Santa Toxqui López**, es profesora investigadora adscrita al área de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería, es especialista en el área de física y caracterización de materiales.

Dra. **Verónica Santacruz Vázquez**, es profesora investigadora adscrita al Colegio de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ha publicado artículos en revistas indizadas a nivel nacional e internacional, es autora de libros y capítulos de libro, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, es profesora con perfil PRODEP. Es especialista en caracterización de alimentos y su procesamiento.

La **Ing. María Ines Rivera Cote** es ingeniera en Alimentos, egresada de la Facultad de Ingeniería Química.

La **Ing. Anel Stefania Morales Olivares** es ingeniera en Alimentos, egresada de la Facultad de Ingeniería Química.

Efecto de la Aplicación de Biopelículas Electrohiladas de Grenetina en la Vida Útil de Rebanadas de Manzana

Dra. Verónica Santacruz Vázquez¹, Dra. Claudia Santacruz Vázquez², Dr. José Oscar Laguna Cortés³ y M.I.Q. Guadalupe Cuahuizo Huitzil⁴

Resumen—El presente trabajo tiene como finalidad mostrar las ventajas del uso de biopelículas electrohiladas en rebanadas de manzanas de variedades poblanas para aumentar su vida de útil. Se obtuvieron recubrimientos biopoliméricos electrohilados, y se aplicaron a rebanadas de manzanas cultivadas en la región de Zacatlán. Se comparó la vida útil y aceptación sensorial de las frutas a las cuales se les aplicó el recubrimiento electrohilado y el control. La aplicación de la cubierta electrohilada de grenetina en las rebanadas de manzana demostró ser efectiva en la reducción de pérdida de peso (10%), cambio de color (22%), y mayor vida útil a temperaturas de almacenamiento de 5°C y 15°C, en comparación con las muestras sin tratamiento. La aplicación de películas electrohiladas como recubrimiento son una alternativa viable para el diseño de frutos mínimamente procesados, ofrecen ventajas para mejorar las condiciones poscosecha de productos hortofrutícolas poblanos con potencial en la industria alimentaria.

Palabras clave— Biopelículas electrohiladas, Recubrimientos, Rebanadas de manzanas, Vida.

Introducción

La manzana es posiblemente una de las frutas más conocidas desde la antigüedad y se define como fruto con forma globosa algo hundida por los extremos del eje, de epicarpio delgado, liso, un mesocarpio con sabor ácido y ligeramente azucarado, y semillas pequeñas, de color de caoba, encerradas en un endocarpio coriáceo. Entre los componentes químicos más importantes en este alimento se encuentra la pectina, aminoácidos como la cisteína, histidina, la isoleucina, la lisina, la serina, la valina, la metionina, ácidos como el glutámico, linoleico (Vitamina F) málico, oleico, palmítico y cafeico.

Las características nutritivas de la manzana permiten considerarla como uno de los alimentos más completos para una dieta balanceada por todos componentes presentes. Este producto tiene un 85% agua, azúcares, la mayor parte fructosa y en menor proporción, glucosa y sacarosa, es una fuente de vitamina E y es rica en fibra, su contenido mineral sobresale el potasio, mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, (Lin y Zhao, 2007).

Las enfermedades y pudriciones en manzana que afectan a la manzana durante su almacenaje después de su recolección, provocan anualmente, niveles de pérdidas difíciles de establecer con exactitud, pero que, dependiendo de la temporada, pueden llegar a ser de consideración. Las pudriciones más frecuentes en este tipo de productos son el moho verde y el corazón mohoso provocado por un complejo de hongos (Quintero et al., 2010).

La producción de manzana en el estado de Puebla tiene su impulso en la sierra norte del estado, las variedades y porta injertos tradicionales que se cultivan en Puebla no representan ingresos significativamente elevados ni son instrumentos efectivos para superar la pobreza (SAGARPA 2014). Sin embargo este fruto tiene una serie de características que lo hacen deseable para los agricultores de subsistencia que son la mayoría en el sur del país.

Recubrimientos comestibles

El uso de recubrimientos comestibles es una tecnología emergente de suma importancia para prolongar la vida útil de frutas frescas y mínimamente procesadas, debido a que actúan como una barrera contra la humedad. Cuando el fruto presenta pérdida de humedad, disminuye su firmeza y su peso provocando cambios en el sabor y la apariencia. La aplicación de biopolímeros genera una reducción de su respiración, evita pérdida de compuestos volátiles y retarda la oxidación enzimática. Así como también reducen la abrasión durante la manipulación de la fruta y son posibles portadores de ingredientes funcionales (antimicrobianos y antioxidantes).

¹ La Dra. Verónica Santacruz Vázquez es investigadora de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México veronica.santacruz@correo.buap.mx

² La Dra. Claudia Santacruz Vázquez es investigadora de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. claudia.santacruz@correo.buap.mx.

³ El Dr. José Oscar Laguna Cortés es profesor del departamento de Ciencias Básicas del Tecnológico de México-Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla, México. jose.laguna@puebla.tecnm.mx.

⁴ La M.I.Q. Guadalupe Cuahuizo Huitzil es doctorante del programa de doctorado en Ingeniería química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. guadalupe.cuahuizo@alumno.buap.mx.

Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz continua delgada, que posteriormente es utilizada en forma de recubrimiento del alimento o está ubicada entre los componentes de este. El uso de recubrimientos comestibles en frutas frescas y mínimamente procesadas como cítricos, manzanas y pepinos procesados ha sido utilizado para mantener la calidad y prolongar su vida útil (Lin y Zhao, 2007).

El uso de estos recubrimientos comestibles en frutas se basa en ciertas características como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua y a microorganismos así como a su aceptabilidad sensorial. Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material empleado (conformación), masa molecular, distribución de cargas, condiciones bajo las cuales se preforman los recubrimientos (tipo de solvente, pH, concentración de componentes y temperatura), y tipo y concentración de los aditivos plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes o emulgentes entre otros (Quintero, Pascual y Muñoz, 2010). Las proteínas forman recubrimientos más débiles que los polisacáridos debido a la naturaleza hidrofílica del vapor de agua, pero por otro lado, desarrollan buenas propiedades de barrera al oxígeno, lo que ayuda a controlar el intercambio de gases entre el fruto y el medio ambiente (Chambi, & Grosso (2011), así como propiedades mecánicas que son adecuadas para recubrir alimentos (Lin y Zhao, 2007). La capacidad de diferentes proteínas para formar recubrimientos depende de su peso molecular, conformaciones, propiedades eléctricas y estabilidad térmica (Campos *et al.*, 2011). Las proteínas y polisacáridos son biopolímeros hidrófilos y se han combinado para formar recubrimientos comestibles compuestos (Abdollahi, et al (2012).

Materiales y Métodos

Se utilizó manzanas frescas de la variedad Rayada producidas en el municipio de Zacatlán, Puebla (*Malus domestica*) adquiridas en un mercado local en la ciudad de Puebla, posteriormente se lavaron y obtuvieron rebanadas de espesor de 0.5cm, las cuales se caracterizaron fisicoquímicamente: porcentaje de sólidos solubles, contenido de humedad, color y análisis sensorial. Se prepararon tres diferentes formulaciones de película denominadas F1, F2 y F3 (Cuadro 1).

Película	Agua	Gelatina	Aceite de naranja
F1	95	4.5	0.5
F2	90	9	1

Cuadro 1. Composición de formulaciones para la preparación de películas

Las muestras fueron caracterizadas fisicoquímicamente y posteriormente, la superficie de las rebanadas de manzana fueron recubiertas con las soluciones poliméricas (sólidos solubles, contenido de humedad y color). Las rebanadas de manzana recubiertas con las películas en estudio se empacaron en charolas de polietileno y se almacenaron a una temperatura de refrigeración de 7°C, por un periodo de 30 días. Se tomaron tres muestras por cada película a los 1,5,7, 10, 20 y 30 días para realizar los análisis antes mencionados en función del tiempo de almacenamiento. Cabe señalar que, de las tres muestras tomadas, una es el patrón (sin tratamiento) y las dos restantes son los frutos con tratamientos F1 y F2.

Los sólidos solubles se midieron a partir de un homogeneizado de la muestra con un refractómetro marca ABBE. La humedad se determinó por el método gravimétrico de diferencia de peso, secando en una estufa de vacío a 65°C por 24 horas (AOAC, 1990). El color de las rebanadas de manzana se midió mediante un colorímetro Colorgard System/05. Los parámetros evaluados fueron L (luminosidad), a (rojo) y b (azul-amarillo) de la escala de Hunter (AOAC, 1990).

La prueba empleada fue una prueba sensorial efectiva de aceptación general, donde se dieron a probar a 120 consumidores de entre 10 y 30 años las rebanadas de manzanas con y sin recubrimientos, con el objetivo de identificar el grado su aceptación. A los resultados obtenidos de la prueba de aceptación sensorial se aplicó un análisis estadístico.

Resultados

Se adquirieron ejemplares de manzana de un mismo grado de madurez y se realizó la comparación de los resultados de las pruebas fisicoquímicas, obteniendo que la manzana empleada para el recubrimiento en las películas diseñadas se encuentra entre Pintona y madura y presentó un índice cercano a la madurez de 2.5. Durante el desarrollo del experimento las rebanadas de manzanas seleccionadas mostraron el mismo estadio de madurez, de tal forma que pudiese cuantificar el efecto de las películas en las rebanadas de manzana. Se observó que

las placas de manzana que no fueron recubiertas, presentaron deshidratación lo que generó que la concentración de humedad se redujera.

El comportamiento del parámetro de sólidos solubles de las rebanadas de manzana con película F2 presentó los valores más bajos, mientras que las rebanadas de manzana cubierta con F1 y la muestra sin recubrimiento presentaron valores superiores con tendencias asintóticas similares. Se cree que este fenómeno se presenta como resultado del proceso de deshidratación comentado previamente en la que se identifica que la remoción de agua durante el almacenamiento conduce a una concentración de los sólidos de las placas de manzana y con ello un incremento de los sólidos solubles o grados Brix. El análisis estadístico de los sólidos solubles de las rebanadas de manzana a través del análisis de varianza (ANOVA) mostró que existe influencia significativa por la aplicación de las películas en estudio, para un nivel de confianza del 95%, lo que puede interpretarse que el tratamiento F2 si afecto el comportamiento hidrocínético en las placas de manzana con respecto al control y el tratamiento F1.

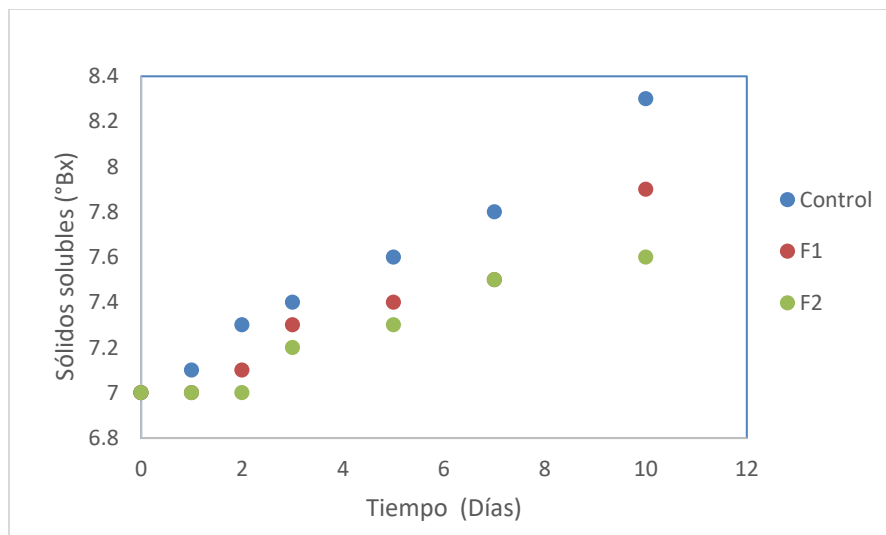


Figura 1. Contenido de sólidos solubles de rebanadas de manzanas cubiertas con las dos diferentes películas en comparación con la muestra patrón.

Análisis de cambios de color durante el almacenamiento

El cambio más importante en el color de las rebanadas de manzana durante el almacenamiento fue el parámetro L de Hunter, para las rebanadas de manzanas sin recubrimiento el cual disminuyó en un 27% lo que nos indica que el producto se volvió opaco. Las rebanadas de manzanas cubiertas con F1 presentaron una disminución mucho menor en ese parámetro, el cual fue de 5.47%, en el cual las rebanadas de manzana tenían un aspecto de mayor frescura en comparación con los tratamientos F1 y el control.

La tendencia del parámetro a de la medición del color para las placas de manzanas cubiertas con F2 fue aumentando al final del tiempo de almacenamiento en un 2.82%, mientras para el caso de las rebanadas de manzanas control y recubiertas con F2 este mismo parámetro aumentó en un 8.04%, 11.9% respectivamente, lo que indicó que el color de la manzana se fue a tonalidades rojas, producto de la deshidratación de las placas y la oxidación enzimática, específicamente para estos dos tratamientos F1 y control.

El parámetro b de Hunter fue el parámetro menor afectado para las rebanadas de manzanas cubiertas con todos los tratamientos, se mantuvo constante, aumentando al final del tiempo de almacenamiento en un 4.87% para las rebanadas de manzanas cubiertas con F2, un 6.25% para las rebanadas de manzanas control y 5.87% para F1, lo que significa que el color café aumentó durante el tiempo de almacenamiento para estos tres últimos tratamientos, resultado de la oxidación enzimática de las rebanadas, así como el posible crecimiento de microorganismos en la superficie de las rebanadas de manzana.

Se calculó también la diferencia neta de color y se obtuvo que al final del tiempo de almacenamiento, se alcanzó un valor de ΔE de 28.46 para las rebanadas de manzanas cubiertas F2, fue mucho más bajo que el valor registrado para las rebanadas de manzana control y las recubiertas con F1 que fue de 37.47 y 35.21 respectivamente, lo cual nos muestra que existió una menor variación en el color de las rebanadas de manzanas cubiertas con F2, que las muestras control y las cubiertas con F1.

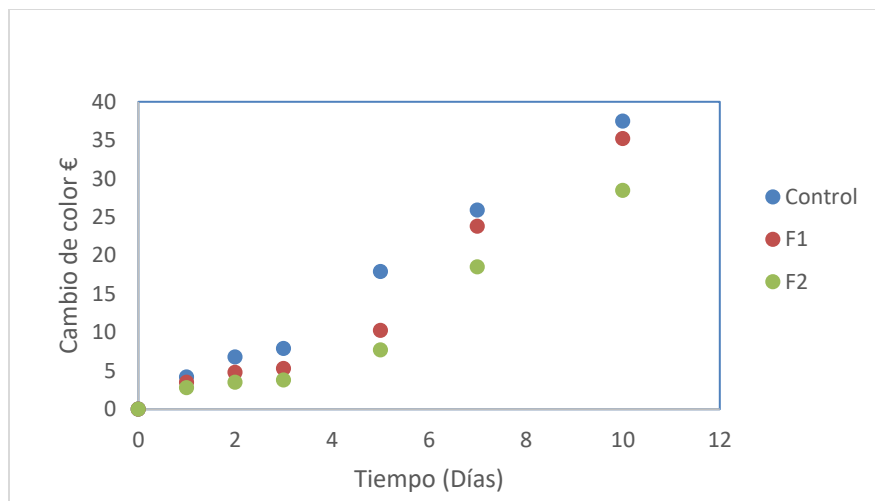


Figura 2. Cambio de color de rebanadas de manzanas cubiertas con las dos diferentes películas en comparación con la muestra patrón durante el tiempo de almacenamiento.



Figura 3. Recubrimiento electrohilado, obtenido en el laboratorio de Alimentos de la FIQ-BUAP.

Día 0. En la Figura 4 se muestra las rebanadas de manzanas en el día que se les aplicó la película. En el inciso a) se distingue la muestra patrón (sin película), en el inciso b) se muestra la rebanada de manzana con la película ya seca y lista para su empaque en charolas de polietileno, aquí es de recalcar que todas las películas mejoraron la apariencia de la rebanada de manzana resaltando el color característico de su pulpa y dándole cierto brillo, esto va de acuerdo a los estudios realizados por Du *et al.* (2011) con formulaciones a base de lípidos y polisacáridos aplicadas a mandarinas.

Día 2. En el quinto día no se observa cambio considerable en la apariencia de las rebanadas de manzanas con película con respecto al control.

Día 3. En el séptimo día en las muestras control, F1 y F2, comienzan a aparecer manchas café en la superficie de la cáscara. Posterior a los 10 días de almacenamiento, en las rebanadas de manzanas control se observa la presencia de puntos de color café. Este fenómeno no influyó en las características de la pulpa de las rebanadas de manzana, pero se considera un problema en la aceptación de la fruta, dado que la apariencia externa con manchas disminuyó la aceptación sensorial de las rebanadas de manzana.

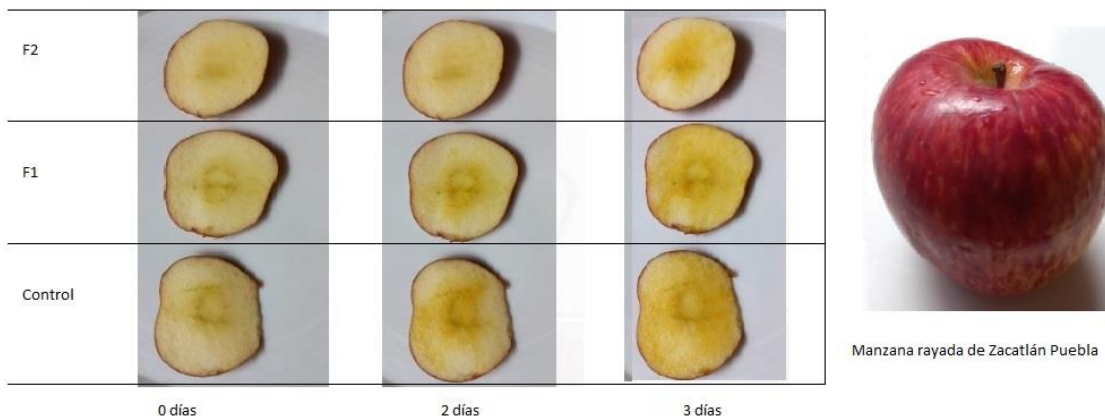


Figura 4. Día 0, 2 y 3 de almacenamiento de rebanadas de manzana con películas electrohiladas F1, F2 y control a 7°C.

Desarrollo del sabor y aroma

Se observó un cambio en el sabor de la pulpa, debido a la hidrólisis de los almidones que se transforman en azúcares, por la desaparición de los taninos y otros productos causantes del sabor astringente, además de la disminución de la acidez debido a la degradación de los ácidos orgánicos, no obstante los evaluadores percibieron un sabor diferente más no desagradable en las muestras recubiertas con la película F2, esto es causado probablemente por la mayor concentración de aceite de naranja que contenía el recubrimiento electrohilado. Para el primer día de almacenamiento se observa que las rebanadas de manzanas cubiertas con las películas F1 y F2 y presentan características físicas similares a la muestra sin control, con signos visibles de frescura para los tres tratamientos. A los 7 días de almacenamiento, las muestras cubiertas con F1 y el control presentaron manchas de color café, disminuyendo su aceptación sensorial, mientras que las rebanadas de manzanas cubiertas con F2, apenas inicia la aparición de dichas manchas, siendo estas las que mejor apariencia presentan, además de presentar un color amarillo más brillante.

Es posible observar las ventajas de la aplicación de películas electrohiladas en las rebanadas de manzanas, entre ellas la mejora de la apariencia, color y brillantez a los siete días posteriores de su aplicación en las rebanadas de manzana. Son varios los autores que mencionan estas ventajas al usar recubrimientos a base de lípidos y polisacáridos aplicadas a frutas (Gol y Ramana, 2011). Los resultados reportados en la literatura son acordes a los reportados en este trabajo de investigación, empleando proteínas como componentes de las películas electrohiladas.

Evaluación sensorial

Con respecto a la evaluación sensorial (Figura 5), el sabor de las rebanadas de manzanas cubiertas fue afectado durante los primeros diez días de almacenamiento a condiciones de refrigeración; el olor y textura se mantuvieron cercanos a las características originales de la fruta, no obstante las rebanadas de manzanas presentaron variaciones en sus características físicas a partir del día siete, periodo en el cual el color tanto de la rebanadas de manzana con el recubrimiento F1 y el control fue evidentemente rechazado.

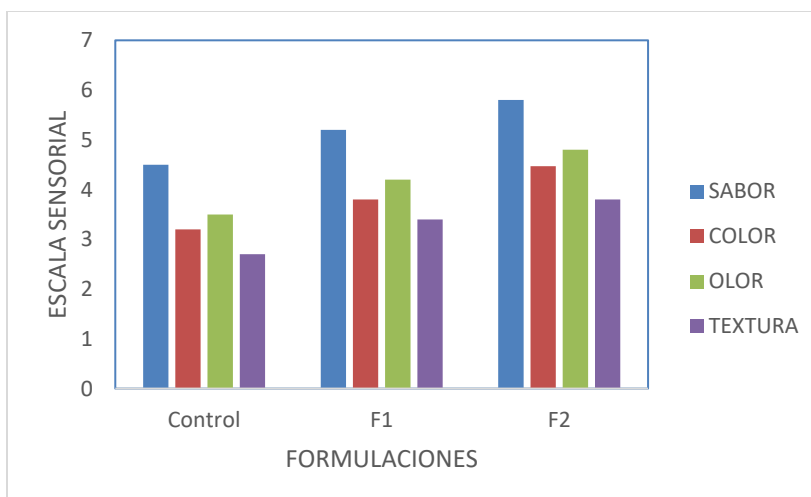


Figura 5. Resultados de evaluación sensorial de rebanadas de manzanas recubiertas con las Formulaciones F1, F2 y control.

Conclusiones

Las características de los ingredientes empleados en los recubrimientos electrohilados permiten que esta tecnología sea una alternativa viable para alargar la vida útil de rebanadas de manzanas y con ello su comercialización a nivel nacional e internacional como un producto mínimamente procesado.

La mejor cubierta fue F2 ya que se caracterizó por ser la más efectiva en reducir los cambios en los parámetros sólidos solubles, color y contenido de humedad. La aplicación de esta película comestible para alargar la vida útil de las rebanadas de manzanas fue exitosa, y con ello permite el consumo de frutas y hortalizas listas para su consumo, además de ser técnicas que facilitan la conservación de los alimentos mínimamente procesados para su aplicación a gran escala en la industria alimentaria.

Referencias

- Abdollahi, M., Rezaei, M. y Farzi, G. (2012). Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 847-853.
- Campos, C., Gerschenson, L. y Flores, S. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 849-875.
- Chambi, H. y Grosso, C. (2011). Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-polysaccharide-based films. *European Food Research and Technology*, 232(1), 63- 69.
- Du, W., Olsen, C., Avena-Bustillos, R., Friedman, M. y McHugh, T. (2011). Physical and antibacterial properties of edible films formulated with apple skin polyphenols. *Journal of Food Science*, 76(2), M149-M155.
- Gol, B. N. y Ramana, R. T. V. (2011). Banana fruit ripening as influenced by edible coatings. *International Journal of Fruit Science*, 11, 119-135.
- <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Lin, D. y Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60-75.
- Quintero, C. J. P., Pascual, F. V. y Muñoz, H. A. J. (2010). www.sagarpa.gob.mx/Paginas/.../Manzana.aspx

Notas Biográficas

La Dra. Verónica Santacruz Vázquez es investigadora de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. Terminó sus estudios de doctorado en ciencias en Alimentos en el Instituto Politécnico Nacional, México. Ha publicado libros y capítulos de libro y artículos en revistas arbitradas e indizadas.

La Dra. Claudia Santacruz Vázquez es investigadora de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. Terminó sus estudios de doctorado en ciencias en Alimentos en el Instituto Politécnico Nacional, México. Ha publicado libros y capítulos de libro y artículos en revistas arbitradas e indizadas.

El Dr. José Oscar Laguna Cortés es profesor del departamento de Ciencias Básicas del Instituto Tecnológico de Puebla del Tecnológico Nacional de México. Puebla, Puebla, México. Terminó sus estudios de doctorado en Educación. Ha publicado libros y capítulos de libro y artículos en revistas arbitradas.

La M.I.Q. Guadalupe Cuahuizo Hutizil es doctorante del programa de doctorado en Ingeniería química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Actualmente trabaja en Aplicaciones de redes Neuronales. Ha publicado artículos en revistas arbitradas.

Estudio del Desempeño Tribológico de Soluciones Acuosas de Glicerol en un Tribómetro de Perno en Disco

M. I. Diego F. Silva Álvarez¹, Dr. Iván Domínguez López²,
Dr. Adrián L. García García³ y Dr. José D. O. Barceinas Sánchez⁴

Resumen—Para reducir las emisiones de CO₂ a la atmosfera se están buscando alternativas a productos derivados del petróleo. Los biolubricantes presentan varias ventajas. En este trabajo medimos el coeficiente de fricción de un par tribológico de acero inoxidable a una velocidad relativa de 400 mm/s en un tribómetro de perno en disco construido en el CICATA-IPN-Querétaro. Utilizamos como biolubricante, glicerol y soluciones acuosas del mismo a 40°C, aplicando una carga de 5N, equivalente a una presión de contacto de 0.98 GPa. Medimos los cambios en el coeficiente de fricción en la etapa inicial conocida como running-in. Solamente el glicerol puro mantuvo separadas las superficies por largos periodos de tiempo, con un coeficiente de fricción muy bajo y sin que se produjeran cambios importantes de rugosidad en el disco. Por el contrario, las soluciones acuosas de glicerol no permitieron formar una película estable de lubricante en el par de contacto.

Palabras clave—Tribología, Glicerol, Fricción, Perno en Disco.

Introducción

La lubricación es la tecnología que permite disminuir la fricción y desgaste de los tribosistemas mediante la adición de una sustancia que logre separar el par de fricción. Los primeros lubricantes fueron de origen vegetal y animal (Bhushan, 2013), sin embargo debido al desarrollo de la industria petroquímica a finales del siglo XIX, la gran mayoría (≈98%) de los lubricantes actuales son de base petróleo (Das, 2018). Los lubricantes de base petróleo tienen una alta efectividad para disminuir la fricción y desgaste de diferentes tribosistemas. No obstante, su uso plantea dos preocupaciones importantes: la disminución en las reservas del recurso (McGlade & Ekins, 2015; Nigam & Singh, 2011) y, quizás el más relevante, el carácter tóxico que tiene para el medio ambiente (Bartz, 1998; Freitas et al., 2020; Lopes et al., 2010; Nowak et al., 2019). Para el ser humano supone una amenaza a través del contacto dérmico o la inhalación con mínimas cantidades, con alergias o irritaciones, problemas respiratorios que pueden llegar a ser severos, hasta altas probabilidades del desarrollo de algún tipo de cáncer (Bartz, 1998; McNutt & He, 2016; Nowak et al., 2019).

El estudio tribológico del glicerol ha venido tomando cada vez más relevancia debido a un potencial como lubricante, bajo precio y mínimo impacto ambiental. Björling y Shi (2019), analizaron el comportamiento del glicerol puro de grado analítico al lubricar un par de fricción de AISI 52100, a una temperatura de 40 °C y una carga máxima de 300 N (1.95 GPa). Las superficies del par de fricción fueron cubiertas con una película de carbono tipo diamante (DLC, diamond-like carbon). Al comparar su rendimiento con un aceite de parafina, determinaron al glicerol como un mejor lubricante en todo en campo de estudio, incluso con valores de superlubricidad (Björling & Shi, 2019).

En el presente trabajo se estudia el comportamiento tribológico de soluciones acuosas de glicerol y de glicerol puro a 40°C en configuración de perno en disco.

Descripción del Método

Se utilizaron bolas de acero inoxidable AISI 420, grado 1000, de 9/32" de diámetro y discos de acero inoxidable 304 pulidos a espejo, con una rugosidad promedio aproximada de 0.005 ± 0.001 micrómetros, moviéndose a una velocidad de 400 mm/s en un tribómetro de perno en disco construido en el CICATA-IPN, Unidad Querétaro. Se utilizaron soluciones acuosas de glicerol como lubricante con 0, 5, 10, 15 y 20 % en peso de agua. Los experimentos se realizaron con el lubricante a una temperatura de 40°C, aplicando una carga de 5N, equivalentes a una presión de contacto máxima de 0.98 GPa, y con las superficies en movimiento relativo a una velocidad de 400 ± 1 mm/s. Los experimentos corrieron hasta que se presentó el rompimiento de la película lubricante. Solamente en el caso de glicerol

¹ El M. I. Diego F. Silva Álvarez es estudiante de doctorado en el CICATA Unidad Querétaro del Instituto Politécnico Nacional, México dsilvaa2000@alumno.ipn.mx

² El Dr. Iván Domínguez López es Profesor de Posgrado en el CICATA Unidad Querétaro del Instituto Politécnico Nacional, México idinguezl@ipn.mx (autor corresponsal)

³ El Dr. Adrián L. García García es Profesor de Posgrado en el CICATA Unidad Querétaro del Instituto Politécnico Nacional, México agarciag@ipn.mx

⁴ El Dr. J. D. Oscar Barceinas Sánchez es Profesor de Posgrado en el CICATA Unidad Querétaro del Instituto Politécnico Nacional, México obarceinas@ipn.mx

puro la película no se rompió por lo que se detuvo la prueba después de que el perno acumuló una distancia recorrida sobre el disco, de aproximadamente 2400 metros.

Resultados

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las mediciones del coeficiente de fricción promedio, medido antes del rompimiento de la película lubricante. La representación gráfica de estos resultados se muestra en la Figura 1.

Tabla 1. Coeficiente de fricción promedio y error estándar de la media para cada tipo de lubricante.

%wt agua	COF (Promedio)	COF (E.E.M)
0	0.028	0.0008
5	0.025	0.0006
10	0.076	0.0363
15	0.080	0.0615
20	0.072	0.0360

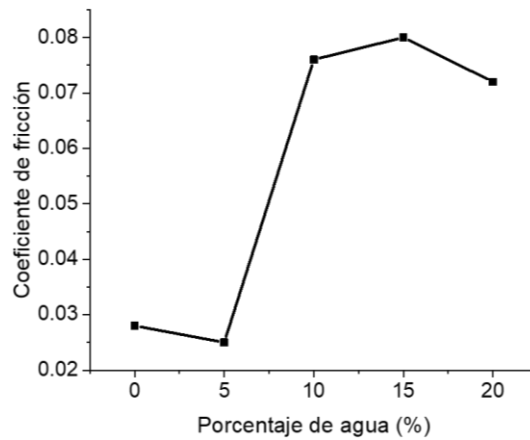


Figura 1. Coeficiente de fricción respecto al contenido de agua en el lubricante.

En la Figura 2 se muestran a manera de ejemplo una comparación de los cambios en el coeficiente de fricción del glicerol puro (0% agua) y la solución con 15% de agua. Se puede observar que la primera mantuvo el coeficiente de fricción en valores menores a 0.03 aún para distancias superiores a 2400 metros, mientras que para la segunda se registró el rompimiento de la película lubricante mediante el incremento repentino del coeficiente de fricción, alcanzando un valor superior a 0.5 después de aproximadamente 80 metros de distancia recorrida.

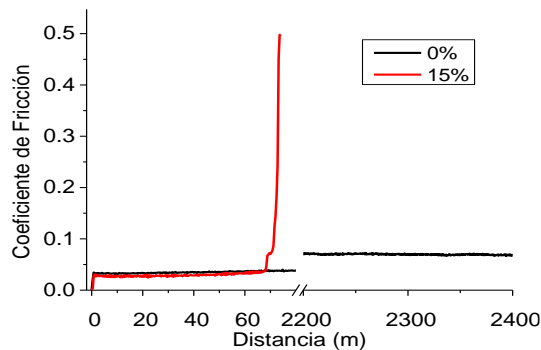


Figura 2. Coeficiente de fricción respecto distancia recorrida para los lubricantes de 0 y 15 %wt agua.

Finalmente, se compararon los perfiles de rugosidad de las superficies lubricadas con glicerol puro y con la solución al 15% de agua, observando el resultado que se muestra en la Figura 3. Para el glicerol puro la rugosidad Ra de la superficie se mantuvo en 0.035 ± 0.006 mm, mientras que para la segunda ésta fue de 0.715 ± 0.124 mm.

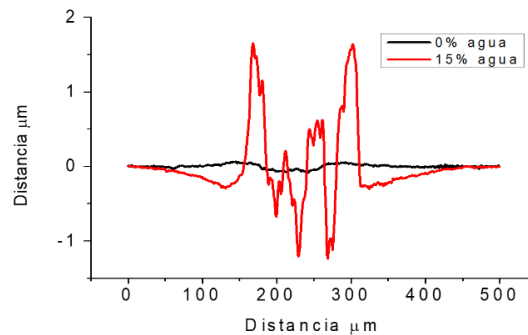


Figura 3. Perfiles de rugosidad

Conclusiones

A diferencia del glicerol puro, las soluciones acuosas de glicerol no permiten formar una película estable de lubricante en el par de contacto perno/disco de acero inoxidable bajo condiciones de carga de 5 N, equivalentes a una presión de contacto de 0.98 GPa, temperatura de 40°C y velocidad de 400 mm/s.

Las soluciones acuosas de glicerol mostraron un incremento repentino en el coeficiente de fricción dentro de los primeros 75 metros de recorrido del perno sobre el disco, mientras que el glicerol puro mantuvo un coeficiente de fricción estable, menor a 0.03 en distancias superiores a los 2400 metros después de los cuales se interrumpió el ensayo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento de CONACYT bajo la clave 2020-000026-02NACF y del Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado a los proyectos IPN- SIP-20221710 e IPN- SIP-20221028.

Referencias

- Bartz, W. J. (1998). Lubricants and the environment. *Tribology International*, 31(1–3), 35–47. [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(98\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(98)00006-1)
- Bhushan, B. (2013). Friction and Wear Screening Test Methods. In *Principles and Applications to Tribology* (pp. 789–803). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118403020.ch12>
- Björling, M., & Shi, Y. (2019). DLC and glycerol: Superlubricity in rolling/sliding elastohydrodynamic lubrication. *Tribology Letters*, 67(1), 23. <https://doi.org/10.1007/s11249-019-1135-1>
- Das, R. (2018). Eco-friendly lubricants for tribological application. In *Handbook of Ecomaterials* (pp. 1–18). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_95-1
- Freitas, J. S., Pereira, T. S. B., Boscolo, C. N. P., Garcia, M. N., de Oliveira Ribeiro, C. A., & de Almeida, E. A. (2020). Oxidative stress, biotransformation enzymes and histopathological alterations in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to new and used automotive lubricant oil. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 234, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108770>
- Lopes, P. R. M., Montagnolli, R. N., de Fátima Domingues, R., & Bidoia, E. D. (2010). Toxicity and biodegradation in sandy soil contaminated by lubricant oils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 84(4), 454–458. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-9945-8>
- McGlade, C., & Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C. *Nature*, 517(7533), 187–190. <https://doi.org/10.1038/nature14016>
- McNutt, J., & He, Q. (Sophia). (2016). Development of biolubricants from vegetable oils via chemical modification. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 36, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.02.008>
- Nigam, P. S., & Singh, A. (2011). Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1), 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2010.01.003>
- Nowak, P., Kucharska, K., & Kamiński, M. (2019). Ecological and health effects of lubricant oils emitted into the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(16), 3002. <https://doi.org/10.3390/ijerph16163002>

El Turismo en el Pueblo Mágico de Xico, Veracruz: Un Enfoque de Administración de la Calidad

Dr. Ismael Sosa Galindo, Dr. Manuel Ignacio Martínez Acuña,
MC. José Luis Valadés Varela, y Dra. Candy Obdulia Sosa Jiménez

Resumen—Se realizó un abordaje a partir de información obtenida mediante cuestionarios y entrevistas a visitantes, pobladores y autoridades, además de consultas en fuentes oficiales con el objetivo de tener una mejora continua. Con la finalidad de proponer medidas que le sirvan para su integración en un Programa Estratégico y Sustentable de Desarrollo Turístico Municipal con un enfoque de Administración de la Calidad, que permita transformar el turismo transitorio que actualmente continúa prevaleciendo, a un turismo de mayor permanencia, que permita una inyección económica sustancialmente mayor, que se refleje y traduzca en bienestar directa e indirectamente a los habitantes del pueblo.

Palabras clave— Turismo, Administración de la Calidad, Muestreo Aleatorio, Desarrollo Turístico Municipal.

Introducción

Xico es uno de los 212 municipios del estado de Veracruz que cuenta con 39,623 habitantes INEGI (2020) el cual posee varios atractivos turísticos como la antigua estación de ferrocarril, la casa de la cultura, cascadas, museos, parroquias, fiestas patronales, plaza de toros, puentes históricos, entre otros, contando con 14 hoteles y 25 restaurantes, ya que es un lugar muy visitado durante todo el año, presentando la dificultad de que no es suficiente el volumen del turismo actual que permita un desarrollo significativo, no obstante, cuenta con la denominación de “Pueblo Mágico”.

La mayoría de los visitantes son transitorios, es decir solo visitan el pueblo por unas cuantas horas e incluso únicamente se dirigen al principal atractivo turístico que son las cascadas de Texolo y marginalmente el pueblo para comprar productos típicos como: mole, pan, verde, morita, entre otros, generando poca estadía en los hoteles y poca demanda en los restaurantes. Desde nuestra perspectiva se piensa que el turismo transitorio en Xico se debe a ciertos factores que están ocultos y los cuales hay que identificarlos para poder superarlos, por lo tanto este estudio propone analizar y estudiar la situación para identificar dichos factores que determinan la existencia de un turismo transitorio y la posibilidad de aumentar su permanencia mediante la utilización de las técnicas de Administración de la Calidad, aplicadas a restaurantes y hoteles principalmente, que permita un desarrollo económico local integral sustentable, sin sacrificar sus tradiciones, su carácter de pueblo, su imagen, ni su cultura.

Descripción del Método

Objetivo

El objetivo de este trabajo es conocer y analizar los factores que determinan el incremento y la retención del turismo en Xico, así como las causas que originan la falta de turismo permanente para establecer algunas medidas adecuadas que permitan mitigarlo resaltando que uno de los objetivos del “Programa Pueblo Mágico” es que las comunidades se beneficien del turismo como actividad redituable. Plan Nacional de Desarrollo (2013)

Metodología

Se elaboró y aplicó una encuesta por muestreo probabilístico mediante 3 tipos de cuestionarios diferentes, se solicitó a la responsable de la casa de la cultura y encargada del área de turismo en Xico para que convocara a una reunión de hoteleros y restauranteros aproximadamente 40 establecimientos. Después en promedio dos veces por semana durante cuatro meses se recolectó la información con visitantes al pueblo.

El esquema metodológico fue el Muestreo Aleatorio Simple debido a que, al considerar los diferentes tipos de muestreo existentes en la literatura especializada en Estadística, este método resultó el mejor de acuerdo las características técnicas necesarias y suficientes que se tomaron en cuenta, tanto de los colectivos a los que está dirigida la encuesta, es decir a las distintas poblaciones, como, a nuestros limitados recursos económicos y al intervalo de tiempo para presentar resultados. Boza et al (2016)

Instrumentos de evaluación

Los instrumentos de evaluación desarrollados en este proyecto constan de tres cuestionarios diferentes que se basaron y validaron de los utilizados por las áreas de levantamiento de encuestas para la evaluación general del Programa Pueblos Mágicos del Gobierno Federal. SECTUR (2022)

Finalmente se realizaron y validó el cuestionario. Se utilizó en el estudio la prueba piloto para evaluar y mejorar la confiabilidad y validez de los instrumentos de medición antes señalados, así como para detectar posibles

problemas de logística en el levantamiento de las encuestas, las especificaciones de la muestra fueron tres: La primera que la muestra fue aleatoria, la segunda que dicha muestra fue representativa y, la tercera que la muestra tuvo la cobertura en el Pueblo Mágico de Xico, Veracruz.

Estos instrumentos describen lo siguiente: El *cuestionario número 1* corresponde a “visitantes” con el cual se pretende conocer sus necesidades y consta de ocho preguntas cerradas. El *cuestionario número 2* está dirigido a “responsables del órgano público local de turismo” y consta de diez preguntas, de las cuales solo tres son cerradas y las siete restantes son abiertas y se les interroga sobre aspectos, medidas y factores que influyen en el pueblo de Xico tanto a favor como en contra, sobre la percepción que tienen las personas encuestadas de los beneficios logrados desde que alcanzó la denominación de pueblo mágico y qué proponen para incrementar la popularidad del mismo. El *cuestionario número 3* está dedicado a la “población abierta y/o prestadores de servicios”, el cual consta de siete preguntas de las cuales tres son abiertas y cuatro cerradas, y también se les pregunta que es lo que está funcionando bien en este pueblo y que no está funcionando.

Encuestas estadísticas

En este caso se levantó la encuesta mediante una muestra determinada por las técnicas estadísticas y probabilísticas. El muestreo tiene *Ventajas* como: Menor costo, información más exacta que la del censo debido a que el menor número de encuestadores permite capacitarlos mejor, es posible introducir métodos científicos para corregir errores, mayor rapidez en la obtención de la información y de los resultados. Boza et al (2016). El principal instrumento que se utilizó para obtener información pertinente fue el cuestionario. Pero también se realizaron entrevistas.

Análisis de datos

Una necesidad inminente para Xico es la de reforzar los atractivos con potencial turístico que respondan a las expectativas de los mercados consumidores, y sobre todo darle énfasis a la publicidad como Pueblo Mágico, con la finalidad de fomentar el flujo turístico que traería automáticamente la generación de una mayor derrama económica en beneficio de esta comunidad y la reactivación y modernización de los negocios turísticos locales, a fin de apoyar su despegue y consolidarlos, es decir constituir al turismo local de Xico en una herramienta del desarrollo sustentable con un enfoque de la gestión de la calidad, así como en un programa de apoyo a la administración y desarrollo municipal.

Como parte del patrimonio cultural inmaterial, cabe resaltar la importancia de las festividades locales, como elementos culturales que sustentan la vida de la comunidad, como un ejemplo las festividades en honor a Santa María Magdalena en el mes de julio de cada año, con respecto a sus habitantes estos, son gente noble, que mantienen sus costumbres y sienten el orgullo por sus tradiciones.

Como resultados de la encuesta se encontró que el género de las personas que visitan Xico, es muy pequeña la diferencia que existe entre el sexo femenino y el masculino, ya que el primero representa un 51% y el segundo es de un 49%.

Como motivo de visita de los turistas (ver Figura 1), el mayor porcentaje alcanzado es el del esparcimiento que representa un 17% con respecto al total estimado de visitantes. En lo relativo a la visita de familiares y amigos también tiene que ver con la afluencia turística ya que de una u otra manera existe derrama económica para este pueblo y representa un 19% del total de las visitas. Los eventos como bodas, XV años, reuniones, compras, negocios, razones profesionales, estudios académicos, permite también contar con su visita lo cual permea en derramas económicas para los pobladores de este lugar. Un elemento importante es el hecho de que el ecoturismo y la cultura en Xico está teniendo una demanda cada vez mayor.

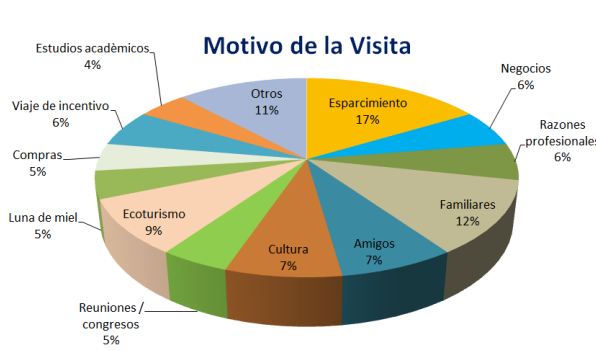


Figura 1. Motivo de la Visita.

Respecto a la situación sobre el hospedaje en Xico (ver Figura 2) este se encuentra en una categoría de excelente y buena, ya que el 78% de los visitantes consultados que se hospedaron en este Pueblo Mágico así lo manifestaron, es claro que hay que considerar que la apreciación personal de cada individuo depende de muchas variables como el nivel social, u otras vivencias en ciudades comparables, ya que una persona que se ha hospedado en hoteles de ciudades de turismo mundial es diferente su percepción a personas sin esas experiencias.

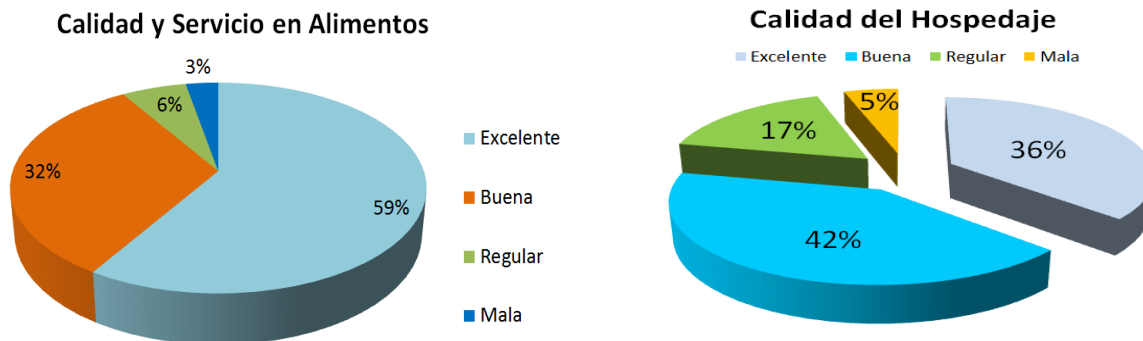


Figura 2. Calidad y Servicio en Alimentos de los restaurantes de Xico, Veracruz

En el sector de alimentos, Xico cuenta con más de 25 restaurantes con variedad de comida y precios, la principal comida propiamente dicha anteriormente que se ofrece es la típica como por ejemplo guisado de frijol con xonequi, el mole de Xico, tamales canarios xiqueños, entre otros, pero hay también restaurantes que ofrecen comida internacional, encontrando que el 91% expresó que es excelente y buena y solo el 9% opinan de regular o mala.

Las opiniones anteriores son respetables, pero como todo es perfectible, a los visitantes que respondieron el cuestionario, también se les entrevistó con la pregunta de qué recomendarían para mejorar la atención y satisfacción al cliente respecto a los alimentos, y los comentarios siguientes son el resultado de dichas entrevistas: que siempre es importante que se mantenga y mejore el buen sazón, la higiene y la rapidez en la cocina, el buen trato, la higiene personal, estar muy atentos con los clientes por parte de los meseros, un precio razonable en los platillos, bebidas y postres, así como la calidez del lugar y la higiene de los utensilios, lavabos y sanitarios (que nunca falten toallas, papel, jabón, etc).

La apreciación general de los visitantes respecto al pueblo mágico se pudo apreciar que el 50% de los encuestados opinaron que es una ciudad limpia y ordenada, mientras que el 32% dice que es una ciudad segura y el 13% afirma que los servicios son de calidad, el restante 5% observó otras características como tranquilidad, esparcimiento, gente amable, entre otras.

Cabe aclarar que las preguntas fueron cerradas y solo contestaron una de las cuatro alternativas, en orden de apreciación personal pero muchas personas manifestaron que las demás características también las tiene esta ciudad, es decir que dependía tanto de percepción de los visitantes como de los lugares a los que tuvieron acceso, por ejemplo, si alguien no visitó algún restaurante, no puede opinar del servicio del mismo.

Los visitantes que llegan a conocer o a pasear e incluso de visita familiar tienen la característica peculiar de que la gran mayoría poseen estudios universitarios o superiores, Escolaridad de los visitantes, el 77% son personas con estudios superiores tanto de licenciatura como de posgrado, mientras que el 23% restante cuenta con estudios de enseñanza media, es decir secundaria y bachillerato, difícilmente se localizan visitantes sin instrucción educativa básica.

En lo relativo a aspectos que deben ser mejorados en la ejecución del programa “Pueblos Mágicos” las personas entrevistadas manifestaron que es necesaria una mayor difusión de Xico como Pueblo Mágico, que se haga mayor publicidad a todos los prestadores de servicio por parte del municipio, que ven necesario otorgar al visitante un verdadero servicio de calidad principalmente en restaurantes y hoteles, que es necesario que la actividad turística se programe con el auxilio de especialistas tanto del gobierno como de la Universidad Veracruzana así como de otras instituciones tanto públicas como privadas, buscar estrategias para incrementar la afluencia turística para elevar el nivel económico de los habitantes del pueblo, es muy necesario e importante mejorar la limpieza del pueblo y las casas

así como mejorar la imagen de Xico, además opinan que se debe prohibir el comercio ambulante, y que se tienen que promover más fuertemente los negocios de este pueblo, entre otras.

Respecto a los aspectos del programa “Pueblos Mágicos” que sí han funcionado para el fortalecimiento turístico de su localidad manifestaron que se pueden mencionar las vías de acceso, el alumbrado público, una pequeña mejora en afluencia del turismo, planeación del programa, sistematización de la información, mayor eficiencia en la atención al público, bailes y verbenas los domingos, presentación de conjuntos musicales de Xalapa y Coatepec, han mejorado un poco la vialidad, se ha mejorado la entrada y la salida del pueblo y ha mejorado también un poco la publicidad sobre la imagen de Pueblo Mágico.

En las medidas que deba incorporar el programa “Pueblos Mágicos” para mejorar su implementación, manifestaron que hace falta mayor calidad en los servicios, guía informativa cultural y de los atractivos del municipio y de hoteles, restaurantes y negocios de interés turístico, mejorar locaciones para que se fijen más los productores de cine y televisión en los escenarios naturales con los que se cuentan, ver las necesidades de cada empresario para su servicio y organizarse con el gobierno para tomar medidas correctivas, una mejor infraestructura, servicios e imagen urbana, un adecuado equipamiento turístico, modernización de las micro y pequeñas empresas, mejorar la imagen de la ciudad, pintura de casas, arreglo de calles, mejor mantenimiento de luminarias, mejorar la vialidad, una señalética decente, empedrado de calidad para las calles, hacer una campaña publicitaria permanente sobre los atractivos y servicios que se ofrece en este Pueblo Mágico.

Acerca de los factores que limitan el desarrollo turístico de su localidad, los que participaron opinaron que hacen falta estacionamientos, mejorar precios de los alimentos y productos que se ofrecen al público en general, no hay una guía turística solo hay folletos pero no están actualizados, poner una caseta de información turística, no hay comunicación entre las autoridades del municipio y con las de más arriba, no hay difusión de que existe Xico y lo que ofrece, falta un programa de Publicidad y otro de Relaciones Públicas para dar imagen real y contundente del pueblo, falta de rehabilitación de sitios de interés turístico, falta de integración entre los prestadores de servicios, falta promover más los productos turísticos de Xico.

Sobre los factores que pueden contribuir al fortalecimiento turístico de su localidad, las respuestas fueron que se deben ofertar más productos turísticos al menos a nivel nacional, elaborar un diagnóstico sobre las necesidades que prevalecen en la ciudad de Xico, créditos blandos a empresarios pequeños, la publicidad y calidad de los servicios, señalética de calidad, certificación ambiental y turística, una mejor imagen urbana, gestión oportuna de recursos económicos de parte de las autoridades que les corresponda, facilidades para llegar a los atractivos turísticos, organización entre las autoridades del municipio y la iniciativa privada, entre otras.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo se estudió a través de una encuesta aplicando muestreo probabilístico el turismo transitorio del pueblo mágico de Xico, Veracruz para encontrar los factores que afectan la derrama económica en dicho sector y poder efectuar una serie de recomendaciones para mejorar ese problema en hoteles y restaurantes. Los resultados incluyen el análisis estadístico de la encuesta efectuada, y se resumen en la siguiente sección.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de las entrevistas con habitantes, pequeños empresarios, autoridades y visitantes, se detallan a continuación:

No se tienen programas de apoyo y capacitación para empresas turísticas, tampoco se cuenta con un diagnóstico de actividades económicas actualizado. Se tiene un inventario no actualizado de sitios culturales, y declaratoria de zonas de monumentos históricos, pero además no se realizan acciones de conservación a dicho patrimonio y a pesar de que se tiene un plan de desarrollo turístico municipal y su reglamento de imagen urbana y plan de manejo en función del programa Pueblos Mágicos, no se fortalece con el entusiasmo que permita su implementación contundente en la localidad, tampoco se cuentan con programas bien definidos para la promoción de las actividades artísticas y culturales y no existe participación de las asociaciones civiles locales en la conservación de su patrimonio.

A este pueblo le hace mucha falta un programa integral de publicidad de su imagen, así como una mayor difusión de sus servicios de hoteles y restaurantes pero que no son conocidos por la gente de otros estados de la República Mexicana, ni siquiera del resto del estado de Veracruz y en paralelo hace falta una campaña para la obtención de diferentes distintivos existentes que dan prestigio a los comercios, como el distintivo “H” de Higiene por ejemplo para restaurantes es fundamental, el distintivo “M” que es el distintivo de calidad y modernización, para garantizar la total satisfacción de las expectativas de los turistas como por ejemplo para hoteles y restaurantes, lo cual serviría a de un fuerte atractivo en las promociones a futuro del pueblo de Xico, Veracruz.

Los principales factores o causas que aparentemente no permite que los visitantes tengan estadías de horas o de entrada por salida o estadías no mayores de un día al pueblo de Xico se puede considerar que se debe a las siguientes posibles causas: Falta de promoción de los hoteles y de los restaurantes, hace falta buenos planes y programas de desarrollo, con estrategias competitivas tanto en el pueblo como en la región, con el fin de mejorar: tanto precios, servicios, higiene, sazón, publicidad, e incluso buscar la ventaja con respecto a los de la capital del estado.

Para lograr que el turismo en este pueblo aumente y fortalezca su desarrollo local Las medidas principales serían mediante una campaña de gran envergadura de publicidad en todos los medios de comunicación, y en paralelo otra campaña de relaciones públicas con el afán de proyectar una imagen corporativa de Xico como Pueblo Mágico, lograr distintivos “H” y “M” inicialmente y la implantación de la ISO-9000:2015 iniciando en sus procesos de elaboración de alimentos como de los procesos de atención, buscando disminuir la variabilidad en los mismos, mediante la implantación de una filosofía de la calidad como la de Seis-Sigma y/o la Teoría de las Restricciones. Pande (2005).

Pero no es solamente con el enfoque de la calidad total que se va a resolver la situación del incremento del turismo, sino que se tienen que acompañar de otras acciones como un plan estratégico de publicidad y relaciones públicas a nivel regional, estatal y nacional. Para lo anterior se les sugiere recurrir al departamento de vinculación en la Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales de la Universidad Veracruzana, así como con las escuelas y agencias de turismo de Xalapa y la región para que mediante el servicio social por un lado y mediante las experiencias educativas de campaña publicitaria y el laboratorio de estadística apoyen y detonen inicialmente al municipio en este sentido, ya que después del inicio fuerte y agresivo de acciones, se requiere de despachos profesionales para la promoción y consolidación de programas instituciones y de políticas públicas adecuadas.

Se recomienda tramitar un convenio con la Universidad Veracruzana mediante la creación de una “Villa Universitaria” en Xico, sobre el proyecto de colaboración vía el servicio social con sus diferentes escuelas, facultades e institutos para apoyar el desarrollo sustentable, coordinada por profesores e investigadores altruistas de la UV y donde concurren jóvenes de todas las áreas de dicha universidad e incluso de otras, para contribuir al desarrollo de este pueblo.

En paralelo se sugiere la creación inmediata del área de turismo y del comité “Pueblo Mágico” en coordinación con la licenciatura de Publicidad y Relaciones Públicas de la Universidad Veracruzana para la puesta en marcha y difusión del programa “Aprendiendo con los Pueblos Mágicos”, que tiene como objetivo resaltar el valor turístico de localidades mexicanas y estructurar una oferta turística innovadora, que atienda la demanda creciente de cultura, tradiciones, aventura y deporte extremo en escenarios naturales, en la cotidianidad de la vida rural, así como apoyar a los artesanos y microempresarios en la elaboración de su catálogo virtual y su página de internet.

De todo esto se justifica el surgimiento de líneas de investigación diversas para que los universitarios que realizarán su servicio social, implementen esas experiencias en trabajos de investigación como tesis, proyectos de inversión, planes de desarrollo, gestiones de exportación, estudios de caso, entre otras.

Es también necesario incrementar el gasto y la estadía de los visitantes a fin de fortalecer al sector económico y generar mayores empleos, elevar las inversiones del sector privado, apoyar el desarrollo regional, mejorar el ingreso, la calidad de vida de muchas comunidades, pero promoviendo el bienestar social y la ecología, es decir un desarrollo sustentable para tratar de colocar a esta región xiqueña en un nivel alto y sostenido de ventaja competitiva en sus actividades turísticas.

Referencias

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. “Censo de Población y Vivienda 2020”

Pande, Peter S., et al, “Las claves de SEIS SIGMA”, McGraw Hill, México 2005.

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, Programa Sectorial de Turismo 2013-2018. México, 2013.

Boza Chirino, Pérez Rodríguez, J. V., & León Ledesma, J. de. (2016). Introducción a las técnicas de muestreo. Pirámide.

Secretaría de Turismo (SECTUR), <http://sistemas.sectur.gob.mx/pueblosmagicos/> consultado en diciembre 2022.

Notas Biográficas

Ismael Sosa Galindo es Dr. en Ciencias en el Área de Alta Dirección es profesor de tiempo completo de la facultad de Ciencias Administrativas y Sociales de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.

Manuel Ignacio Martínez Acuña es Maestro en Tecnología Educativa es profesor de tiempo completo de la facultad de Ciencias Administrativas y Sociales de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.

José Luis Valadés Varela es Maestro en producción artística y Marketing Cultural es profesor de tiempo completo de la facultad de Ciencias Administrativas y Sociales de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.

Candy Obdulia Sosa Jiménez Dra. en Inteligencia Artificial es profesora de la facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.

Biodiesel un Biocombustible Renovable de Origen Orgánico

Dr. Torres Heredia Victor Elias¹, Dra. Hernández Romero Delia², I.Q. Clemente Pliego Andrea³

Resumen—Los distintos procesos donde se generan grandes cantidades de grasas y aceites residuales que son desechados sin algún tratamiento previo, y que debido a su composición química causan graves problemas de contaminación, pueden ser aprovechadas como materia prima para la producción de biodiesel debido a su contenido de triglicéridos. Además, de que el uso de biodiesel como fuente renovable de combustible, contribuye a la reducción de emisiones de monóxido de carbono, azufre, hidrocarburos y partículas sólidas. El presente trabajo es una revisión documental sobre la investigación de los procesos de obtención del biodiesel, factores que afectan la transesterificación, un estudio sobre las propiedades fisicoquímicas de las materias primas que han sido empleadas. Así como las especificaciones o normas ASTM y CEN empleadas para la aprobación y utilización del biodiesel comercialmente.

Palabras clave— Biodiesel, Biocombustibles, materia prima, esterificación, normas ASTM.

Introducción

El biodiesel ha recibido mucha atención en la última década debido a que se reconoce su importancia ambiental, genera menos efectos negativos que el diésel derivado del petróleo ya que proviene de una fuente renovable, produce pocas emisiones de gases corrosivos y de gases que producen el efecto invernadero, además de ser biodegradable (Ramírez *et al.*, 2012). Actualmente, la producción comercial del biodiesel se ha incrementado y se espera que en los próximos años sustituya parcial pero significativamente la utilización del diésel derivado del petróleo.

La utilización del biodiesel es debatida porque a escala mundial empresas y gobiernos están haciendo una intensa campaña para presentar los biocombustibles como alternativas ambientalmente amigables, sin embargo, los cultivos para obtener la materia prima necesaria para la producción de biodiesel son monocultivos donde se aplican grandes cantidades de agroquímicos y que, además, requieren de grandes extensiones de tierra que pueden ser utilizadas para la producción de alimentos o que sustituyen ecosistemas naturales. (Waddell, 2018)

Diésel o petrodiesel

Es un combustible extraído del petróleo, mezcla de hidrocarburos y aditivos petroquímicos que se obtiene por destilación fraccionada del crudo entre 250 °C y 350 °C a presión atmosférica. Es utilizado principalmente como combustible en calefacción y en motores diésel (Vonortas y Papayannakos, 2014). No es renovable y genera preocupaciones ambientales por parte de las quemas de productos derivados del petróleo que conducen a la destrucción de paisajes naturales y hábitats de vida silvestre. (Cai, 2016, Ramírez y Hernández, 2021)

Biocombustibles

Los combustibles generados de fuentes renovables son uno de los recursos de energía más amigables con el ambiente y a medida que crece la preocupación por el calentamiento global, aumenta el interés por los biocombustibles. Son una opción favorable de consumo de combustible debido a su renovabilidad, biodegradabilidad y generación de gases de calidad aceptable. (Rouhany y Montgomery, 2019)

Los biocombustibles se refieren a combustibles líquidos, gaseosos o sólidos producidos predominantemente a partir de biomasa. Su finalidad es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo con el insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos. Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones, según su origen y evolución. (Kirubakaran y Selvan, 2018)

Biocombustibles de primera generación

Los biocombustibles líquidos de primera generación son los más socorridos; esto se demuestra porque hoy en día se está produciendo aproximadamente el equivalente a 20 millones de toneladas de petróleo, lo que significa 1% del consumo mundial total. Los biocombustibles líquidos más usados actualmente son los bioalcoholes, bioaceites y biodiesel. Los biocombustibles de primera generación se producen a partir de caña de azúcar, granos de maíz, jugo de remolacha o betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuete, grasas animales, grasas, aceites de cocina, procesamiento de alimentos y residuos sólidos orgánicos. (Paredes *et al.*, 2020)

¹ Dr. Torres Heredia Victor Elias es Profesor en la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México. victortorres@uv.mx (autor corresponsal)

² Dra. Hernández Romero Delia es Profesora en la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México, deliahernandez@uv.mx

³ I.Q. Clemente Pliego Andrea es estudiante en la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México, andreaalmnt@gmail.com

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación (para los aceites y grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol (a partir de azúcares), biodiesel (a partir de los aceites), y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos). (Maciel, 2016)

Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero (excepto en el caso del maíz, donde el balance de estas emisiones es casi nulo) y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos. (Ramos *et al.*, 2016)

Biocombustibles de segunda generación

Los biocombustibles de segunda generación se distinguen en dos aspectos: se obtienen de vegetales que no tienen una función alimentaria, y se producen con innovaciones tecnológicas que permitirán ser más ecológicos y avanzados que los actuales. Como se obtienen de materias primas no alimentarias, se pueden cultivar en tierras marginales que no se emplean para el cultivo de alimentos. En este sentido, permiten una mayor diversificación con nuevas materias primas, nuevas tecnologías y nuevos productos finales, promoviendo de esta forma el desarrollo agrícola y agroindustrial. Podemos decir que los biocombustibles de segunda generación de mayor futuro son el biodiesel y el bioetanol. (Perdices, 2007)

Los residuos agrícolas y forestales, compuestos principalmente de celulosa son la fuente de los biocombustibles de segunda generación. Se puede producir bioetanol, metanol, gas sintético a partir del bagazo de caña de azúcar, rastrojo de maíz (tallos, hojas y mazorcas), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles (Paredes *et al.*, 2020).

Los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación, como la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch. Este último proceso también recibe los nombres de proceso GTL y proceso BTL, cuyas siglas en inglés provienen de “Gas-To-Liquids” y “Biomass-To-Liquids” respectivamente, los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol. La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación. (Maciel, 2016)

Biocombustibles de tercera generación

Los biocombustibles de tercera generación provienen de organismos que pueden producir su propio alimento, a partir de energía solar y CO₂ (Ramos *et al.*, 2016). Los insumos de los combustibles de tercera generación son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas, logrado producir biodiesel y etanol a nivel planta piloto (Villadiego *et al.*, 2015).

Las ventajas de estos biocombustibles son la retención de dióxido de carbono (CO₂) para la producción de los insumos y un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, pero presenta una desventaja que es la utilización de tierras de cultivo de alimentos para sembrar los insumos, con excepción de las algas.

Biocombustibles de cuarta generación

A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles. Actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico; sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes. (Maciel, 2016)

Biodiesel

El biodiesel se puede definir como una mezcla de ésteres de alquilo que contienen largas cadenas de ácidos grasos obtenidos típicamente a partir de recursos biológicos no tóxicos, principalmente de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación (Reséndiz *et al.*, 2019). Tiene alrededor de 10.5% de oxígeno en su composición, lo que ayuda a mejorar su proceso de combustión, reduciendo las emisiones de gases como hidrocarburos (HC), dióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), y material particulado (PM), en especial las de monóxido de carbono (CO) (Andrade *et al.*, 2017).

Materia Prima

Los componentes principales del biodiesel son los triacilglicerol (TAG) o los triglicéridos (TG) que se componen de tres ésteres de ácidos grasos unidos a la estructura base de glicerol, que componen alrededor del 90 al 98% de la masa total de cualquier biomasa que contenga triacilglicéridos. (Castellar *et al.*, 2014)

Es fundamental seleccionar materias primas que sean rentables y presenten características importantes como bajo costo de producción y potencial para la fabricación a gran escala, ya que representa más del 75% del costo total de producción del biocombustible (Peiter *et al.*, 2020, Kirubakaran y Selvan, 2018).

Las materias primas se pueden clasificar en: aceites vegetales (comestibles y no comestibles) como la soya, mostaza, palma, girasol, nuez, maíz, jatropha curcas, mango marino, presentan densidades de 0.90-0.92 g/cm³, viscosidad de 29.4-72 cst a 40°C y acidez desde 0.1-44 mg KOH/g (Castellar *et al.*, 2014), también son ricos en ácidos linoléico, oléico, palmítico (Ishak y Kamari, 2019), aceites residuales (usados para preparar frituras y cocinar) se caracterizan por contenidos relativamente altos de ácidos grasos libres (AGL), agua y presencia de materiales sólidos, estos aceites sufren cambios debido a reacciones hidrolíticas, oxidativas y térmicas durante su uso (Li, 2017) (Mateos *et al.*, 2019), grasas animales (limpias y residuales) pueden incluir una variedad de animales domésticos, como vacas, pollos, cerdos y otros animales como peces e insectos que contienen un mayor porcentaje de ácidos grasos saturados en comparación con los aceites obtenidos del reino vegetal (Toldrá *et al.*, 2020)(Rivera, Villanueva y Sandoval, 2009), estas materias primas contienen un alto índice de cetano, así como valores de oxígeno y refracción semejantes al diésel (Basha *et al.*, 2009; Öner y Altun, 2009; Rivera *et al.*, 2009; Encinar *et al.*, 2011), y microorganismos (Ishak y Kamari, 2019) como levaduras, microalgas, bacilos y hongos han sido utilizados para la producción de biodiesel debido a su capacidad para acumular desde 20% hasta 80% de lípidos celulares (Akubude *et al.*, 2019). Las especies de microalgas pueden crecer en diferentes ambientes acuíferos desde agua dulce hasta agua salada o incluso en aguas residuales, debido a bajo consumo de agua y alta razón de crecimiento en comparación con las plantas terrestres (Chaudry *et al.*, 2015). Las microalgas acumulan hasta un 60% de su peso celular de lípidos, contrario a los aceites obtenidos de la agricultura que solo logran un almacenamiento de 5-10% (Sengul, *et al.*, 2018). Otros microorganismos como tribonema, ulothrix y euglena han mostrado buena capacidad en la producción de biodiesel. (Khan, *et al.*, 2017)

Dependiendo de sus características, las materias primas pueden ser sometidas a un pretratamiento, el cual puede consistir en uno o más de los siguientes procesos: esterificación ácida (formación de ésteres a partir de AGL), desgomado (eliminación de fosfolípidos), neutralización (eliminación de AGL), winterización (separación en frío de estearinas, ceras y esteroides), lavado (eliminación de residuos de la neutralización) y secado (eliminación de agua mediante un evaporador al vacío) (Elgharbawy *et al.*, 2021, Zhang *et al.*, 2018).

Para los aceites reciclados, los métodos de pretratamiento más usados son: sedimentación, neutralización, cromatografía en columna (constituida por partes iguales de silicato de magnesio y óxido de aluminio) y evaporación al vacío (Ramírez *et al.*, 2012).

Producción de Biodiesel

Biodiesel ha sido producido por esterificación catalítica y transesterificación alcalina de aceite vegetal y grasas residuales, usando ácido sulfúrico de calidad analítica e hidróxido de sodio respectivamente en solución de metanol, reportando valores de índice de acidez, densidad, contenido de agua, viscosidad de acuerdo a las normas ASTM (Villadiego *et al.*, 2015). En la tabla 1 se realiza un estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas analizadas por otros autores en relación al biodiesel obtenido mediante esterificación y transesterificación de aceites residuales.

Tabla 1. Comparación de la calidad del biodiesel de acuerdo a las normas ASTM.

Propiedad	Villadiego <i>et al.</i> , 2015	Kuang <i>et al.</i> , 2011	Chen <i>et al.</i> , 2010	Demirbas, 2009	Phan y Phan, 2008
Densidad (kg/cm ³)	910.9	872.2	829.4	897	880
Punto de estallido (°C)	78.7	135	195	196	120
Viscosidad cinemática (cSt)	20.65	4.34	9.12	5.3	4.89
Contenido de azufre (% p/p)	0.03	--	0.003	0.06	--
Contenido de agua (mg/kg)	3.712	238	28.5	0.04	Trazas
Índice de acidez (mg KOH/g)	0.3	0.11	0.12	0.1	0.43

Algunas de las tecnologías reportadas para transesterificar aceites o grasas residuales, son el método batch (discontinuo) que es un proceso de producción mediante reactores con agitación y/o recirculación de los fluidos, se ha utilizado NaOH como catalizador, tiempos de reacción de hasta 2 horas y rangos de temperaturas entre 25-85°C (Slinn y Kendall, 2009). Otro método es el continuo (Continuous Stirred Tank Reactor, CSTR, y Plug Flow Reactor, PFR) permite menores tiempos de residencia hasta 10 min, logrando aumentar los resultados de la reacción y ahorro energético (Stavarache *et al.*, 2017).

Etapas de la producción del Biodiesel

Transesterificación

El aceite y la grasa se pueden convertir en biodiesel haciendo reaccionar los ácidos grasos con alcoholes de bajo peso molecular; entre estos, el más utilizado es el metanol seguido por el etanol debido a que presentan una estructura molecular de cadena corta. El proceso de conversión se desarrolla en un medio catalizado por hidróxido de sodio o hidróxido de potasio y al unir cada uno de ellos a una molécula de metanol o etanol, dicha reacción que se produce se conoce como *transesterificación o alcoholisis* (Musa, 2016). La relación estequiométrica para la transesterificación requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de ésteres y un mol de glicerol. La figura 1 muestra el proceso de transesterificación de los triglicéridos, el cual consta de tres reacciones reversibles consecutivas, que tienen lugar durante la conversión de los triglicéridos contenidos en los aceites orgánicos en diglicéridos, monoglicéridos, y finalmente glicerol (como subproducto) (Adekunle *et al.*, 2020). Existen dos tipos de procesos de transesterificación, *procesos convencionales* asistidos por ultrasonidos, destilación in situ y reactiva y los *procesos catalíticos* que se caracterizan por el uso de catalizadores homogéneos y heterogéneos.

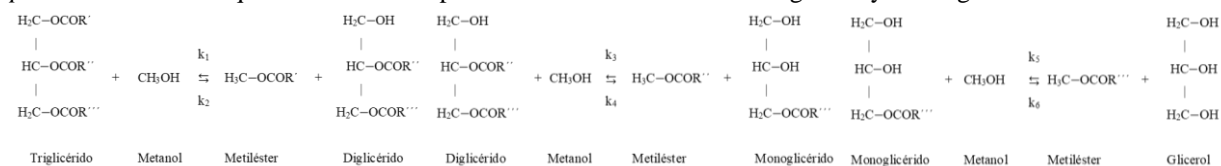


Figura 1. Etapas en la reacción de transesterificación de los Triglicéridos.

El proceso de catálisis homogénea implica que el catalizador se encuentra en estado líquido al igual que los reactivos, estos catalizadores pueden ser ácidos (H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, y ácido sulfónico) o básicos (NaOH , NaOCH_3 , KOCH_3 , KOH , K_2CO_3) (Marchetti *et al.*, 2007, Naik *et al.*, 2010). Los catalizadores ácidos han sido empleados para transesterificar aceites con un alto contenido de ácidos grasos libres y agua, como el aceite de palma o los aceites reciclados, pero esta reacción tiende a ser lenta y requiere un alto consumo de alcohol, temperaturas y presiones más altas.

La producción de biodiesel con catalizadores alcalinos (principalmente NaOH o KOH) se ha incrementado por ser más rápidos, económicos y lograr alta pureza del producto. Sin embargo, se requiere un nivel bajo de ácidos grasos libres (0.5-3.0 %) para que la reacción ocurra y se obtenga un rendimiento alto (Marchetti *et al.*, 2007), además de una mínima humedad, para evitar reacciones secundarias de saponificación o neutralización (Agarwal, 2007). Etóxido de calcio ha sido utilizado para la producción de biodiesel, aunque con mayores demandas de alcohol y de catalizador. (Anastopoulos *et al.*, 2013)

La catálisis heterogénea es un método alternativo de producción de biodiesel que hace uso de catalizadores sólidos como hidrotalcitas, carbonato de calcio, óxidos de estaño, magnesio y zinc, para la reacción de transesterificación superando así las desventajas de usar catalizadores líquidos. En este proceso los ésteres y glicerina obtenidos están libres del catalizador ya que no se encuentran disueltos en el alcohol o en el aceite, lo que facilita la etapa de purificación. Posteriormente, el glicerol y los ésteres son productos inmiscibles que se distribuyen en dos fases después de la reacción. Estas fases pueden ser separadas por decantación o centrifugación. (Da Costa *et al.*, 2016)

Otro de los procesos catalíticos en la producción de biodiesel, es la catálisis enzimática o biocatálisis, en el cual el uso de lipasas (Novozime 435, R. delemar, R. miehei, C. lipolytica, K. oxytoca, P. camemberti, P. fluorescens, P. cepacia) como catalizadores son adecuadas para la transesterificación de los triglicéridos. Presentan la ventaja de que son regenerables y no son inhibidas por la presencia de agua. Sin embargo, el metanol o el glicerol pueden inactivar las enzimas al acumularse (Al-Zuhair, 2007). A pesar del desempeño de las enzimas en una reacción, éstas también presentan ciertos problemas para su utilización ya que tienen baja estabilidad, su separación es complicada y su reutilización es muy limitada, por lo que se sugieren enzimas como lipasas tolerantes a solventes, enzimas múltiples y lipasas inmovilizadas. (Atabani *et al.*, 2012)

Los alcoholes que generalmente se usan en la transesterificación son de cadena corta, principalmente el metanol y etanol. Se pueden utilizar otros alcoholes como lo son el propanol, isopropanol, butanol y pentanol, pero estos son mucho más sensibles a la contaminación con agua, además son más costosos y requieren grandes relaciones molares y temperaturas altas (Alamu *et al.*, 2008). Otros factores que afectan el proceso de transesterificación son la temperatura (temperatura cercana al punto de ebullición del alcohol), las altas presiones (10-43 MPa), el tiempo de reacción el cual depende del tipo de materia prima y catalizador empleado (Enweremadu y Mbarawa, 2019).

Propiedades del Biodiesel

Previo a la utilización de residuos grasos y/o aceites no convencionales en la producción de biodiesel, es necesario determinar sus propiedades fisicoquímicas principalmente el contenido de ácidos grasos libres (AGL) y humedad, a

fin de evitar la presencia de impurezas que interfieren en la reacción de transesterificación. Estas propiedades limitarán las condiciones en que se tienen que llevar a cabo el proceso de obtención de biodiesel. (Bankovic-Ilic *et al.*, 2014)

Dentro de las especificaciones existentes para el biodiesel destacan las de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el Comité Europeo de Normalización (CEN). Las normas de biodiesel Europeas (EN-14214) y Americanas (ASTM -D6751) cuentan con ensayos, métodos y especificaciones para la aprobación y utilización del biodiesel comercialmente. (Sen *et al.*, 2018)

Tabla 1. Especificaciones estándar para el biodiesel.

Propiedad	Unidad	EN-14214	ASTM-D6751
Densidad	kg m ⁻³	860-900	-
Viscosidad (a 40°C)	mm ² s ⁻¹	3.5-5.0	1.9-6.0
Punto de inflamación	°C	101	130
Número de cetano	-	51 min	47 min
Azufre	mg kg ⁻¹	10.0 máx.	15.0 máx.
Contenido de fósforo	mg kg ⁻¹	4 máx.	10 máx.
Contenido de agua	mg kg ⁻¹	500 máx.	-
Número de ácido	mg KOH g ⁻¹	0.50 máx.	0.50 máx.
Glicerina libre	%(masa)	0.02 máx.	0.02 máx.
Glicerina total	%(masa)	0.25 máx.	0.24 máx.
Contenido de cenizas sulfatadas	%(masa)	0.020 máx.	0.020 máx.
Contenido de metanol	%(masa)	0.20 máx.	0.20 máx.
Monoglicéridos	%(masa)	0.80 máx.	-
Diglicéridos	%(masa)	0.20 máx.	-
Triglicéridos	%(masa)	0.20 máx.	-
Contenidos de éster	%(masa)	96.5 máx.	-
Éster metílico del ácido linoleico	%(masa)	12.0 máx.	-
Residuos de carbono	%(masa)	0.30 máx.	0.050 máx.
Polinsaturados (PAGS 4 dobles enlaces) éster metílico	%(masa)	1 máx.	-
Índice de yodo	-	120 máx.	-
Estabilidad a la oxidación (a 110°C)	H	6 min	3 min
Corrosión del cobre (3h a 50°C)	Grado de corrosión	No 1 máx.	No 3 máx.
Contaminación total	mg kg ⁻¹	24 máx.	-
Metales del grupo I (Na + K)	mg kg ⁻¹	5 máx.	5 máx.
Metales del grupo II (Ca + Mg)	mg kg ⁻¹	5 máx.	5 máx.
Destilación 90% recuperado	°C	-	360 máx.
Aguas y sedimentos	%(masa)	-	0.05 máx.

Aplicaciones del Biodiesel

El biodiésel puede ser mezclado con el diésel en motores diésel, disminuyendo las emisiones de óxido de azufre, carbono, dióxido y monóxido de carbono, plomo e hidrocarburos generados en el proceso de combustión (Villadiego *et al.*, 2015). El biodiésel también puede ser utilizado como una alternativa de aceite para motores de dos tiempos, en varios porcentajes; el porcentaje más utilizado es el de 10/1, o como aditivo para motores a gasolina (nafta) para la limpieza interna de éstos (Reséndiz, 2019). Un estudio sobre el rendimiento del biodiesel en una mezcla diésel-biodiesel fue realizado usando diferentes porcentajes de biodiesel (5, 10, 20, y 30 %) en un motor a diésel, en el cual se determinó una disminución en la formación de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y una baja emisión de gases en comparación al diésel. (Gowda *et al.*, 2023)

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este artículo se realizó una investigación documental de diversos autores sobre los procesos de producción del biodiesel, como un biocombustible renovable de origen orgánico. Se revisaron algunos aspectos importantes como son la materia prima, el proceso de transesterificación, los tipos de catalizadores y se hizo mención sobre las normas de calidad que rigen la producción de los biocombustibles.

Conclusiones

Con base en la información recabada se puede decir que el interés por los biocombustibles ha surgido a medida que crece la preocupación por el calentamiento global. Los cuales son una opción favorable de consumo de combustible debido a su renovabilidad, biodegradabilidad y ventajas medioambientales respecto al combustible diésel, en cuanto a la reducción de la emisión de carga contaminante a la atmosfera de compuestos volátiles. Debido a que está conformado de grupos de ésteres de alquilo y glicerina, obtenido mediante transesterificación de aceites o grasas residuales orgánicas con un alcohol de cadena corta en presencia de un catalizador que puede ser alcalino, ácido o una enzima.

Las tecnologías existentes para transesterificar son relativamente simples y pueden ser combinadas, las cuales dependen de la materia prima, el tipo de alcohol, y el catalizador empleado, así como otros factores como la temperatura, la presión y el tiempo, los cuales llegan a producir diferentes rendimientos. El biodiesel obtenido es analizado mediante diversas pruebas estandarizadas por las normas ASTM y EN donde se establecen los estándares de calidad y los valores límites aplicados a los combustibles.

Recomendaciones

Los investigadores interesados en continuar esta revisión sobre el desarrollo de producción del Biodiesel, pueden enfocarse en el estudio de los procesos de producción reportados para la transesterificación de ácidos grasos en biodiesel. Podemos sugerir que hay un abundante campo todavía por explorarse en lo que se refiere a la producción del Biodiesel como un biocombustible de origen orgánico renovable.

Referencias

- Adekunle, A. S., Oyekunle, J. A. O., Obisesan, O. R., Ojo, O. S., y Ojo, O. S. (2016). Effects of degumming on biodiesel properties of some non-conventional seedoils. *Energy Reports*, 2, 188-193. <https://doi.org/10.1016/j.egyvr.2016.07.001>
- Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in energy and combustion science*, 33(3), 233-271. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.08.003>
- Akubude, V. C., Nwaigwe, K. N., y Dintwa, E. (2019). Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(2), 216-225. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2018.12.006>
- Alamu, O. J., Waheed, M. A., y Jekayinfa, S. O. (2008). Effect of ethanol–palm kernel oil ratio on alkali-catalyzed biodiesel yield. *Fuel*, 87(8-9), 1529-1533. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.08.011>
- Álvarez-Mateos, M. P., García-Martín, J. F., Guerrero-Vacas, F. J., Naranjo-Calderón, C., Barrios-Sánchez, C. C., y Pérez-Camino, M. D. C. (2019). Valorization of a high-acidity residual oil generated in the waste cooking oils recycling industries. *Grasa y Aceites*, 70 (4), e335-. <https://doi.org/10.3989/gya.1179182>
- Al-Zuhair, S. (2007). Production of biodiesel: possibilities and challenges. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy*, 1(1), 57-66. <https://doi.org/10.1002/bbb.2>
- Andrade Gordillo, A. C., Corredor Rivera, A. C., Buitrago Fajardo, L. C., y Lache Muñoz, A. (2017). Procesos bioquímicos utilizados para la producción de bioetanol, biodiésel y biogás y su estado en Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6444>
- Anastopoulos, G., Dodos, G. S., Kalligeros, S., y Zannikos, F. (2013). Biodiesel production by ethanolsis of various vegetable oils using calcium ethoxide as a solid base catalyst. *International journal of green energy*, 10(5), 468-481. <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.674081>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H., y Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(4), 2070-2093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>
- Banković-Ilić, I. B., Stojković, I. J., Stamenković, O. S., Veljkovic, V. B., y Hung, Y. T. (2014). Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. *Renewable and sustainable energy reviews*, 32, 238-254. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.038>
- Basha, S. A., Gopal, K. R., y Jebaraj, S. (2009). A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(6-7), 1628-1634. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.031>
- Cai, G. (2016). Performance of petrodiesel and biodiesel fuelled engines: a fundamental study of physical and chemical effects, revisado en <https://hdl.handle.net/2440/112852>
- Castellar Ortega, G. C., Angulo Mercado, E. R., y Cardozo Arrieta, B. M. (2014). Transesterification vegetable oils using Heterogeneous catalysts. *Prospectiva*, 12(2), 90-104. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i2.293>
- Chaudry, S., Bahri, P. A., y Moheimani, N. R. (2015). Pathways of processing of wet microalgae for liquid fuel production: a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1240-1250. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.005>
- Da Costa Evangelista, J. P., Gondim, A. D., Di Souza, L., y Araujo, A. S. (2016). Alumina-supported potassium compounds as heterogeneous catalysts for biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 887-894. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.061>
- Elgharabawy, A. S., Sadik, W., Sadek, O. M., y Kasaby, M. A. (2021). A review on biodiesel feedstocks and production technologies. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 66(1), 5098-5109. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072021000105098>
- Encinar, J. M., Sánchez, N., Martínez, G., y García, L. (2011). Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. *Bioresource Technology*, 102(23), 10907-10914. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.068>
- Enweremadu, C. C., y Mbarawa, M. M. (2009). Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(9), 2205-2224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.007>
- Gowda, S. H., Dmello, J., & Poojary, S. (2023). Process optimization of Scleropyrum pentandrum biodiesel production and study the effect of blends on CI engine characteristics for variation of engine parameters. *Industrial Crops and Products*, 194, 116306. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116306>
- Ishak, S., y Kamari, A. (2019). A review of optimum conditions of transesterification process for biodiesel production from various feedstocks. *International journal of environmental science and technology*, 16(5), 2481-2502. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02279-6>
- Khan, S., Siddique, R., Sajjad, W., Nabi, G., Hayat, K. M., Duan, P., y Yao, L. (2017). Biodiesel production from algae to overcome the energy crisis. *HAYATI Journal of Biosciences*, 24(4), 163-167. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2017.10.003>
- Kirubakaran, M., y Selvan, V. A. M. (2018). A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. *Renewable and sustainable energy reviews*, 82, 390-401. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.039>
- Li, X., Li, J., Wang, Y., Cao, P., y Liu, Y. (2017). Effects of frying oils' fatty acids profile on the formation of polar lipids components and their retention in French fries over deep-frying process. *Food chemistry*, 237, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.100>
- Maciel, C. Á. (2016). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico. Revisado en <http://herzog.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>
- Marchetti, J. M., Miguel, V. U., y Errazu, A. F. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(6), 1300-1311. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.006>
- Musa, I. A. (2016). The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.007>

- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., y Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2), 578-597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
- Öner, C., y Altun, Ş. (2009). Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. *Applied energy*, 86(10), 2114-2120. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.01.005>
- Paredes-Cervantes, S. A., Barahona-Pérez, L. F., Barroso-Tanoira, F. G., y Ponce-Marbán, D. V. (2020). Biocombustibles y su potencial en el mercado energético mexicano. *Revista de Economía, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán*, 37(94), 35-56. <https://doi.org/10.33937/reveco.2020.128>
- Peiter, A. S., Lins, P. V., Meili, L., Soletti, J. I., Carvalho, S. H., Pimentel, W. R., y Meneghetti, S. M. (2020). Stirring and mixing in ethylic biodiesel production. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 54-59. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.01.010>
- Perdices, M. B. (2007). Biocarburantes de segunda generación. *Ecología política*, (34), 11-13. Revisado en [Dialnet-BiocarburantesDeSegundaGeneracion-2510795 \(1\).pdf](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2510795)
- Ramírez, I. E. M., Vela, N. A. C., y Rincón, J. J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Investigación y ciencia*, 20(55), 62-70. Revisado en <https://www.redalyc.org/pdf/674/67424409008.pdf>
- Ramírez-Verduzco, L. F., y Hernández-Sánchez, M. J. (2021). Blends of green diesel (synthesized from palm oil) and petroleum diesel: a study on the density and viscosity. *Bioenergy Research*, 14, 1002-1013. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10183-y>
- Ramos, F. D., Díaz, M. S., & Villar, M. A. (2016). Biocombustibles. Revisado en https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/25791/CONICET_Digital_Nro.cf291889-a370-4b7a-915b-4de3e1058c97_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Reséndiz-Vega, M., Mendoza-Schroeder, R., y Bravo-López, P. (2019). Biodiesel & combustóleo, alternativa sostenible. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 6(11), 16-19. <https://doi.org/10.29057/estr.v6i11.3820>
- Rivera, I., Villanueva, G., y Sandoval, G. (2009). Biodiesel production from animal grease wastes by enzymatic catalysis. *Grasas y Aceites*, 60(5), 470-476. <https://doi.org/10.3989/gya.021409>
- Rouhany, M., y Montgomery, H. (2019). Global biodiesel production: the state of the art and impact on climate change. *Biodiesel: from production to combustion*, 1-14. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00985-4_1
- Şen, M., Emiroğlu, A. O., y Keskin, A. (2018). Production of biodiesel from broiler chicken rendering fat and investigation of its effects on combustion, performance, and emissions of a diesel engine. *Energy & fuels*, 32(4), 5209-5217. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b00278>
- Şengül, A. B., Rahman, M. M., & Asmatulu, E. (2019). Evaluation of media and light source effects on the growth of *Botryococcus braunii* for biofuel production. *International journal of environmental science and technology*, 16, 3193-3202. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1966-6>
- Slinn, M., y Kendall, K. (2009). Developing the reaction kinetics for a biodiesel reactor. *Bioresource Technology*, 100(7), 2324-2327. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.044>
- Stavarache, C., Vinatoru, M., Maeda, Y., & Bandow, H. (2007). Ultrasonically driven continuous process for vegetable oil transesterification. *Ultrasonics sonochemistry*, 14(4), 413-417. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.09.014>
- Toldrá-Reig, F., Mora, L., y Toldrá, F. (2020). Developments in the use of lipase transesterification for biodiesel production from animal fat waste. *Applied Sciences*, 10(15), 5085. <https://doi.org/10.3390/app10155085>
- Villadiego, M. M., Roa, Y. O., y Benítez, L. T. (2015). Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel. *Luna Azul*, (40), 25-34. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.3>
- Vonortas, A., y Papayannakos, N. (2014). Comparative analysis of biodiesel versus green diesel. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(1), 3-23. <https://doi.org/10.1002/wene.78>
- Waddell, R. (2008). The Biodiesel debate. *Billboard*, 120, 28. Revisado en <https://worldradiohistory.com/hd2/IDX-Business/Music/Billboard-Index/IDX/2008/2008-03-29-Billboard-Page-0028.pdf>
- Zhang, B., Wu, J., Yang, C., Qiu, Q., Yan, Q., Li, R., Wang, B., Wu, J., y Ding, Y. (2018). Recent developments in commercial processes for refining bio-feedstocks to renewable diesel. *BioEnergy Research*, 11, 689-702. <https://doi.org/10.1007/s12155-018-9927-y>

Notas Biográficas

El **Dr. Victor Elias Torres Heredia** es profesor de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México. Terminó sus estudios de doctorado en Física Aplicada en la *UPC*, Barcelona, España y maestría en Ciencias con especialidad en Materiales en el CINVESTAV, Querétaro, México. Ha publicado artículos y participado en diversos congresos nacionales e internacionales.

La **Dra. Delia Hernández Romero** es profesora de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México. Realizó sus estudios de doctorado en la *parc científic de Catalunya, de la Universidad de Barcelona*, España. Participó en diversos proyectos de investigación relacionados a productos naturales con actividad biológica y ha publicado artículos en revistas indexadas al Thompson y participado en congresos nacionales e internacionales.

La **I.Q. Andrea Clemente Pliego** es estudiante egresada de Ing. Química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México. Participó en el trabajo de investigación sobre Biodiesel durante sus estudios.

Síntesis y Caracterización del Hidrogel de Metilcelulosa para Eliminar Plomo y Cobre en Agua Contaminada

María Berzabé Vázquez González¹, Nora Alicia Purata Pérez², Alicia Sosa Medina³, Rocío del Carmen Antonio Cruz⁴, José Luis Cáceres Javier⁵.

Resumen — En la actualidad el agua es un recurso de gran importancia y apreciado por la sociedad por ello se quiere evitar su contaminación. Por tal motivo es de vital importancia investigar y conocer maneras para preservarla, además de buscar formas de tratamiento para resolver la presencia de metales pesados.

Actualmente se está promoviendo el uso de tecnologías limpias que son productos, herramientas o procesos que buscan la disminución de contaminación medio ambiental y desechos. Un ejemplo de esto, son los hidrogeles, que son polímeros hidrófilos reticulados capaces de ampliar sus volúmenes debido a su alta expansión en el agua y son ampliamente utilizados en la purificación de aguas residuales.

En este proyecto se presenta la síntesis de un material polimérico el cual es el gel de Metilcelulosa (MC), utilizando glutaraldehído (GA) como agente de entrecruzamiento y ácido clorhídrico (HCl) como catalizador de la reacción de síntesis. El hidrogel de metilcelulosa (MC) tendrá contacto con el agua contaminada que contiene iones de plomo (Pb) y otra tendrá iones de cobre (Cu), con la finalidad de retenerlos mediante un proceso de absorción en la red entrecruzada del hidrogel de MC, y para observar este proceso, se realizará un análisis de absorción atómica (AA) para cuantificar la cantidad de iones de plomo y cobre que se eliminaron del agua contaminada.

Palabras clave— material polimérico, metilcelulosa, cobre, plomo, cantidad de sustrato, remoción.

Introducción

El tratamiento de las aguas residuales es prioridad a nivel mundial, pues es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, para la salud y la calidad de vida. En México se generan alrededor de 210 m³/s de aguas residuales, de las cuales reciben tratamiento sólo el 46.5 % (CONAGUA, 2012). Entre las especies contaminantes, se encuentran los metales pesados, los cuales en su mayoría son altamente tóxicos aún a bajas concentraciones debido a que pueden acumularse en los seres vivos, causando diversos desordenes y enfermedades. Ejemplo de estos metales pesados encontrados en aguas, son el plomo, el cadmio, el aluminio y el zinc. Por lo anterior, es necesario el tratamiento de los efluentes que contengan metales pesados para evitar sean vertidos a los cuerpos de agua. Una alternativa de tratamiento es el proceso de bioadsorción definido como la captación de contaminantes desde una solución acuosa por un material biológico o a través de mecanismos fisicoquímicos o metabólicos. Para lo cual muchos materiales de origen biológico han sido estudiados como adsorbentes para remover iones metálicos del agua en efluentes industriales (Bayramoglu y col., 2002).

En años recientes se han estado realizando estudios de la captación de iones de metales pesados en soluciones acuosas usando hidrogeles poliméricos (Orozco-Guareño y col., 2010). Los hidrogeles son materiales que poseen características especiales, tales como su alta capacidad de hinchamiento, su permeabilidad al agua y a solutos de tamaño pequeño. Sus propiedades son dependientes de factores como la composición y formulación (tipo de monómero, cantidad de entrecruzante) y, cuando se aplica en un medio acuoso, dependen del pH, fuerza iónica y temperatura. Es por estas razones, que, si es ajustada la proporción de sus componentes en su formulación, es posible modificar la interacción del hidrogel con el medio. La interacción con algún soluto metálico es debida a que los hidrogeles poseen en su estructura grupos funcionales tales como: -NH₂, -COOH, -OH, -CONH₂, -SO₃, etc. (Orozco Guareño y col., 2010; Quintina y col., 1999).

¹La MIPA María Berzabé Vázquez González, es Profesora del Tecnológico Nacional de México, campus Villahermosa. marbe_1411@hotmail.com

²La Dra. Nora Alicia Purata Pérez, es Profesora del Tecnológico Nacional de México, campus Villahermosa. npurata@hotmail.com (autor corresponsal).

³La M.I Alicia Sosa Medina, es Profesora del Tecnológico Nacional de México, campus Villahermosa. fangel62@gmail.com

⁴La Dra. Rocío del Carmen Antonio Cruz, es Profesora Investigadora y jefa del laboratorio de investigación II del Tecnológico Nacional de México, campus Villahermosa. rocio.antonio.cruz@gmail.com (autor corresponsal)

⁵El M.I José Luis Cáceres Javier, es Profesor del Tecnológico Nacional de México, campus Villahermosa. jose.caceres@hotmail.com

E. Orozco Guareño y col., en el año 2010, realizaron un estudio del hinchamiento de hidrogeles acrílicos terpoliméricos en agua y en soluciones acuosas de ión plumboso. En el año 2015 Vera Luisa, realizó el siguiente trabajo con el bagazo de caña de azúcar como biosorbente en la eliminación de plomo y cadmio en aguas residuales mineras. Samaniego León, J.E., Arzamendia, A.R, en el 2016 evaluaron la remoción de Hierro y Plomo en aguas residuales por Bioadsorción de la Cáscara de Naranja Agria.

El gel de metilcelulosa, que es un material polimérico, podrá captar iones de metales pesados en soluciones acuosas (plomo y cobre). Por lo tanto, este trabajo tiene como primer objetivo es la obtención de la MC que será el material bioadsorbente. Un segundo objetivo son los ensayos de contacto de la MC con la solución de plomo y cobre en el laboratorio y como tercer objetivo realizar pruebas analíticas a través de la espectroscopia de absorción atómica para conocer la remoción de iones de plomo y cobre. Los resultados generados de este trabajo serán de gran importancia para la Industria, ya que tendrán una alternativa para el tratamiento de sus vertidos.

Descripción del Método

Obtención del hidrogel de metilcelulosa.

En la figura 1 se muestra el proceso para la obtención del gel de metilcelulosa (MC), el cual consiste en varias etapas y a continuación se describe a detalle: En un reactor de vidrio tipo batch de capacidad de 500 ml se adicionaron 10 g de MC y 490 ml de agua destilada, para obtener una solución al 2% en peso. La solución se agitó constantemente durante una hora a 60°C, con ayuda de una parrilla eléctrica con agitación y temperatura controlada. Una vez disuelta la solución se le agregaron 4 ml de HCl y 4 ml de GA, se mantuvo con agitación constante a 80°C durante un tiempo de reacción de 2 horas. Transcurrido el tiempo de reacción, la mezcla se colocó en moldes de plástico y se dejaron secar en una estufa manteniendo un secado lento a una temperatura de 50 °C durante 48 horas, para obtener las películas de MC, luego se guardan en bolsas para su posterior caracterización.

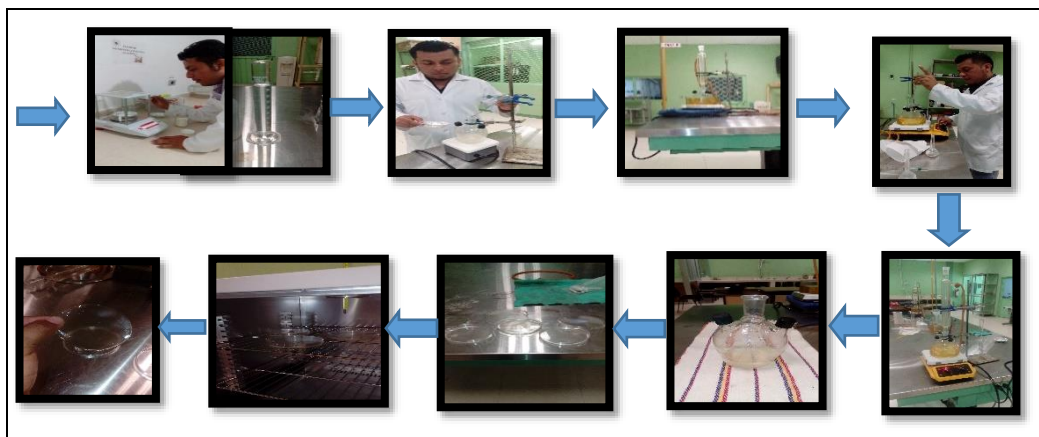


Figura 1. Proceso de elaboración del hidrogel de metilcelulosa.

Preparación de la solución de Cu/l.

En un matraz aforado de 250 ml se agregó 1.183 g de CuSO_4 y se aforo con agua destilada.

Preparación de la solución de Pb/l

En un matraz aforado de 250 ml se agregó 0.4 g de $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$ y se aforo con agua destilada.

Ensayos del sustrato de CMC con la solución de plomo y aluminio

Las películas del gel de MC fueron cortadas en trozos pequeños, posteriormente se pesaron 0.1g, 0.2g y 0.3 g y se colocaron en viales con capacidad de 20 ml, posteriormente se agregaron 15 ml de la solución de Cu y Pb en cada uno de los viales. Estos viales se colocaron en un baño a 120 rpm y 25 °C (ver Fig. 2). Transcurrido este tiempo se filtró cada solución contenida en los viales para su análisis por absorción atómica (AA).

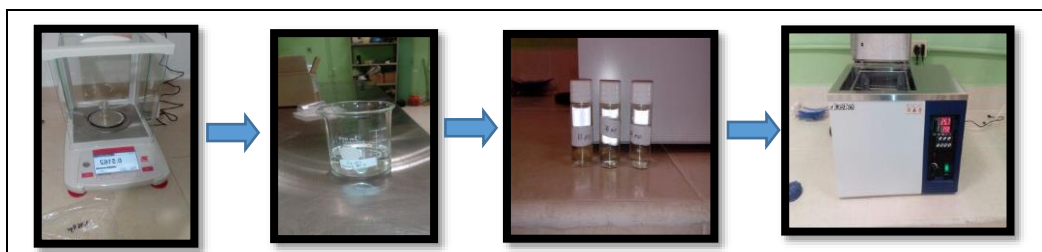


Figura 2. Proceso del ensayo de contacto de la MC con la solución de plomo y cobre.

Análisis mediante espectroscopia de Absorción Atómica (AA).

En la figura 3 se muestra el análisis de AA, primero se realizó una curva de calibración antes de usar el equipo y luego se analizó las muestras para conocer el contenido de iones de plomo y cobre.



Figura 3. Análisis de Absorción Atómica.

Comentarios Finales

Resumen de resultados.

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo sintetizar un gel de metilcelulosa mediante un entrecruzamiento químico con glutaraldehído y utilizarlo para eliminar metales pesados (Pb y Cu para este estudio) y evaluar por AA la eliminación de Pb y Cu mediante el gel de MC.

En los cuadros 1 y 2, se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis de AA a diferentes cantidades de hidrogel, manteniendo constante la agitación (125 rpm) y temperatura (40 °C).

Hidrogel seco (g)	Concentración mg/L	q (mg/L)
0.100	0.0463	0.0663
0.200	0.0227	0.0355
0.300	0.0136	0.0243

Cuadro 1. Resultados de la prueba de Absorción Atómica para determinación de iones de Cu.

Hidrogel seco (g)	Concentración mg/L	q (mg/L)
0.100	0.0669	0.0703
0.200	0.0236	0.0256
0.300	0.1342	0.1320

Cuadro 2. Resultados de la prueba de Absorción Atómica para determinación de iones de Pb.

En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de AA, el tiempo de contacto con el fue de 12 horas, con agitación constante y temperatura controlada. La solución madre tuvo una concentración de 0.3778 mg de Cu/L. Los 0.100 g de hidrogel de MC lograron remover hasta el 88 %, los 0.200 g del hidrogel removieron 89 % de Cu de la solución, y finalmente, con 0.300 g se logró remover 90 %, este último presentó mejores resultados en la eliminación del ion Cu.

En el cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de AA, el tiempo de contacto fue de 12 horas, con agitación constante y temperatura controlada, presentándose resultados favorables y similares al cobre. Obteniéndose 87% de remoción del Pb utilizando 0.100 g de hidrogel de MC, con 0.200 g del hidrogel se removió 89 % de Pb de la solución, y finalmente, con 0.300 g se logró remover 92 %, este último presentó mejores resultados en la eliminación del ion Pb.

Conclusiones

- Se ha desarrollado un proceso para la obtención del gel de metilcelulosa en forma de películas que permiten ser modificados en trozos pequeños para utilizarse como sustratos para la eliminación de metales pesados, en este estudio en particular fue el plomo (Pb) y cobre (Cu).
- Además, se determinó que la cantidad de hidrogel de metilcelulosa ideal para la remoción de Pb y Cu fue de 0.300 g en contacto con la solución a 125 rpm y 40°C reduce significativamente ambos iones.

Recomendaciones

La contaminación del agua y suelo por metales es uno de los problemas ambientales más severos, además de difícil de resolver, y en nuestro país como consecuencia del desarrollo industrial se ha registrado una creciente y preocupante contaminación ambiental.

El plomo es fácil de moldear y tallar, y puede combinarse con otros metales para formar aleaciones. Las aleaciones de plomo son componentes comunes de cañerías, baterías, pesas, proyectiles y municiones, revestimientos de cables y láminas usadas para protegernos de la radiación. Los niveles ambientales de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. El plomo puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo.

El cobre se encuentra generalmente en la corteza terrestre como óxidos, sulfuros y rara vez en su estado metálico. Como consecuencia del contacto del agua con la corteza terrestre podemos encontrar sales de este metal disueltas en aguas superficiales y en los mantos subterráneos por la actividad industrial, usualmente en concentraciones menores a 20 µg/L. Sin embargo, se pueden encontrar concentraciones más altas en puntos de uso de agua como resultado de la corrosión de las tuberías de latón y cobre.

Existen varios métodos para la eliminación de los metales mencionados, como el plomo desde medios líquidos. Estos incluyen: precipitación (involucra el empleo de reactivos químicos), ósmosis reversa, intercambio iónico, tratamiento electroquímico, la biorremediación y tecnologías de membrana, entre otros (Ghassabzadeh et.al.2010). Además, no existen métodos que eliminen el 100 % del cobre en el agua. Algunas tecnologías utilizadas son: la coagulación/filtración (Remoción del 60 al 95%), intercambio Iónico (Remoción de hasta el 95%), suavización con cal (Remoción del 90% a 96%) y Osmosis Inversa (Remoción del 90% hasta el 99%).

Desgraciadamente, estos procesos generan nuevos productos o exceso de biomasa y simplemente transfieren el metal de un medio a otro, sin propiciar una solución definitiva al problema y aunque son efectivos para eliminar metales pesados en concentraciones altas, no son eficientes para hacerlo a concentraciones bajas.

Por lo tanto, es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en el proceso de adsorción, en donde sean utilizados sustratos orgánicos menos dañinos al medio ambiente y además costeados, que permitan la eliminación de estas especies químicas a concentraciones diluidas y la posterior recuperación del adsorbente.

Referencias

Cocinista. (2022). Cocinista. Retrieved November 11, 2022, from Cocinista.es website: <https://www.cocinista.es/web/es/enciclopedia-cocinista/ingredientes-modernos/metilcelulosa.html>

Dolores Salas T. y N. Marzal B. “estudio preliminar de adsorción de iones de cobre con carbón activado de cascara de coco”, Revista Tecnología Química, septiembre- diciembre 2009.

Francisco Javier Rocha C., E. Delgado y Jesús Ángel A. “Obtención de quitosana en el laboratorio y su evaluación en forma de películas para la remoción de cobre en solución acuosa”, Congreso Internacional de Investigación, Instituto Tecnológico de Celaya, 6 al 8 de noviembre de 2013.

Gabriela Barbosa Moreno. “Estudio de liberación de un fármaco (Ketoprofeno) en un gel de carboximetilcelulosa proveniente del bagazo de piña”, Tesis, Instituto Tecnológico de ciudad Madero, diciembre de 2014.

García -Rivas, L., García-Gaitán, B., Antonio-Cruz, R., Zavala, R., Granados-García, M., Reyes-Gómez, J., ...Luna-Bárceñas, J. (2010). Síntesis y Caracterización de Esferas de Quitosano-Egde-Pva para adsorción de Cu(II).

Ghassabzadeh H., Torab-Mostaedi M., Mohaddespour A., Maragheh M., Ahmadi S. y Zaheri P.” Characterizations of Co (II) and Pb (II) removal process from aqueous solutions using expanded perlite, 2010.

Greminger, G. (1979). Cellulosa Derivates Ethers. Encyclopedia of Chemical Technology, 3 rd Ed., 149-163.

Juan Carlos Tapia P., D. Vásquez y A. B Petriociolet. “Desarrollo de microfibras de carbón de baja pureza y su evaluación de metales pesados del agua”, Revista Iberoamericana de Polímeros Tapia et al., septiembre de 2012.

Norma A. Cuizano y Abel E. Navarro. “Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones”, Anales RSEQ, 16 de junio de 2008.

Pabón, S., Benítez, R., Sarria-Villa, R., Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Entre Ciencia e Ingeniería, vol.14, no. 27, 9-18.

Comportamiento Higiénico y Producción de Miel de Abejas (*Apis mellifera*) en Dos Comunidades Rurales de Comalcalco, Tabasco, México

Jorge Alberto Vidal García¹, Francisco Javier Catzím Rojas², Lorena Vázquez Hernández³, Eli Hazael Meneses Feria⁴, Sheyla Cristell Castro Rodríguez⁵, Emeterio Payró de la Cruz^{*6}

Resumen- *Varroa destructor* es la principal amenaza para *Apis mellifera* y los productos químicos usados para su control, contaminan la miel, por lo que una alternativa de solución es seleccionar abejas progenitoras con altos comportamiento higiénico (CH) y producción de miel (PM). La investigación participativa realizada con apicultores de comunidades rurales de Tabasco México, detectó la problemática, por lo que la investigación se realizó en dos apiarios ubicados en agroecosistemas diferentes. En 77 colonias, se determinó el CH (%) y la PM (kilos/colonia). El apiario 1 mostró CH=92.6±4.30% y PM=35.6±4.1kilos/colonia. El apiario 2 mostró CH=89.5±11.6% y PM=36.1±6.4kilos/colonia. Diferencias no significativas entre apiarios (CH: $P=0.816$; PM: $P=0.947$). El CH y PM son características que no están correlacionadas ($r=0.88$; $P=0.449$), lo que sugiere establecer índices de selección en investigaciones futuras. Lo anterior contribuye al desarrollo de la apicultura con el consecuente beneficio en la economía familiar y seguridad alimentaria en comunidades rurales.

¹**Palabras clave-** Comportamiento higiénico, apicultura, sustentabilidad, varroa

Introducción

Los seres humanos han manejado especies de animales y plantas en todo el mundo durante más de 15,000 años (Frantz *et al.* 2020). La relación entre humanos y abejas melíferas (*Apis mellifera*), se evidencia en pinturas rupestres de hasta 7000 años de antigüedad que representan la recolección de miel de nidos de abejas silvestres (Crane, 1990).

México ocupa el décimo lugar como país exportador de miel de abejas (*Apis mellifera*) a nivel mundial (FAOSTAT, 2022). A nivel nacional, los principales estados productores son Campeche, Yucatán, Jalisco, Chiapas Veracruz y Oaxaca, sin embargo, el estado de Tabasco se encuentra rezagado en el lugar 25, a pesar de la riqueza florística que posee (SIAP, 2022). La apicultura es una actividad secundaria que se realiza de manera convencional, en las comunidades donde los productores son de bajos ingresos y es común, el traslado de enjambres silvestres a sus apiarios conservando la misma reina silvestre africanizada (Silva-Contreras *et al.* 2019).

El comportamiento higiénico (CH) en la abeja *A. mellifera* se puede definir como la habilidad que tienen las abejas obreras adultas para detectar, desopercular y remover de las celdas, larvas o pupas enfermas o muertas desde la cámara de cría hacia el exterior de la colonia (Nates-Parra, 2011), por ello, este comportamiento ha sido identificado como uno de los principales mecanismos que confieren resistencia a las abejas melíferas contra parásitos y patógenos (Rothenbuhler, 1964; Spivak y Downey, 1998).

Diversos autores afirman que las abejas africanizadas expresan mayor comportamiento higiénico (CH) en comparación con abejas europeas, lo cual las hace más resistentes a enfermedades (Guzmán-Novoa y Correa-Benitez, 1996; Vandame *et al.* 2002).

Varroa destructor y los patógenos que transmite siguen siendo amenazas críticas para la salud de estas abejas aunando a que, los productos de síntesis química usados para su control, se convierten a agentes contaminantes de la miel y de todo lo que producen las abejas. Una alternativa de solución a esta problemática, es la selección y reproducción artificial de abejas, que tienen alto CH, lo cual les confiere una mejor capacidad para detectar y eliminar

¹ El Ing. Jorge Alberto Vidal García es profesor de asignatura, de la carrera de ingeniería en agronomía del Tecnológico Nacional de México campus Zona Olmeca. Ocuilzapotlán, Tabasco, México. jorge.vg@zolmeca.tecnm.mx

² El Ing. Francisco Javier Catzím Rojas es profesor de carrera titular, de la carrera de ingeniería en agronomía del Tecnológico Nacional de México campus Zona Olmeca. Ocuilzapotlán, Tabasco, México. francisco.cr@zolmeca.tecnm.mx

³ La MC. Lorena Vázquez Hernández es técnico docente de asignatura, de la carrera de ingeniería en innovación agrícola sustentable del Tecnológico Nacional de México campus Huimanguillo. Huimanguillo, Tabasco, México. lorena.vh@huimanguillo.tecnm.mx

⁴ El Ing. Eli Hazael Meneses Feria es profesor de asignatura, de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales del Tecnológico Nacional de México campus Zona Olmeca. Ocuilzapotlán, Tabasco, México. eli.mf@zolmeca.tecnm.mx

⁵ La C. Sheyla Cristell Castro Rodríguez es estudiante tesista, de la carrera de ingeniería en agronomía del Tecnológico Nacional de México campus Zona Olmeca. Ocuilzapotlán, Tabasco, México. L16950017@zolmeca.tecnm.mx

^{*6} El Dr. Emeterio Payró de la Cruz es profesor de carrera titular, de la carrera de ingeniería en agronomía del Tecnológico Nacional de México campus Zona Olmeca. Ocuilzapotlán, Tabasco, México. emeterio.pd@zolmeca.tecnm.mx (**autor responsable**)

crías enfermas de la colonia y por lo tanto, son más resistentes a *Varroa* (Wagoner *et al.* 2018). La investigación participativa realizada con apicultores de comunidades rurales de Comalcalco, Tabasco México, detectó la problemática (Payro-García *et al.* 2021), por lo que la presente investigación se realizó en dos apiarios ubicados en agroecosistemas diferentes. Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue analizar el comportamiento higiénico (CH) y producción de miel (PM) en dos apiarios comerciales ubicados en comunidades rurales, del municipio de Comalcalco, Tabasco, México las cuales se encuentran ubicadas en diferentes agroecosistemas.

Descripción del Método

Área de estudio

El trabajo se desarrolló durante los meses de abril a octubre de 2021, en dos apiarios (N=77 colonias), en el cuadro 1, se muestran las coordenadas UTM las cuales fueron obtenidas con un equipo GPS marca Garmin.

ID Apiario	Localización del apiario	Coordenadas		Número de colonias (n)
		UTMX	UTMY	
1	Centro Tular 2da Sección	452105	2027623	37
2	Ranchería Cocohíte	458710	2035741	40

Cuadro 1.- Número de identificación, nombre de la comunidad, coordenadas UTM y numero de colonias por apiario, en comunidades rurales del municipio de Comalcalco, Tabasco, México.

En la zona de pecoreo de las abejas del apiario 1, predomina un agroecosistema compuesto por popales, tulares, pastizales, sistemas agroforestales y el ecosistema de manglar. En la zona de pecoreo de las abejas del apiario 2, predomina el ecosistema de manglar, sistemas agroforestales, bosques y selvas. Entre estos apiarios existe una distancia mayor a 10km, por lo que no existe posibilidad de que las abejas compitan por la misma oferta floral.

Evaluación de variables

Comportamiento Higiénico (CH)

De cada cámara de cría, se seleccionó un bastidor con postura compacta y operculada, se realizó en sentido vertical una punción profunda en el centro de 100 celdillas, usando un instrumento de elaboración propia compuesto de 100 agujas de insulina (Figura 1). La zona punzada se delimitó y el panal se devolvió a la colonia, al día siguiente se revisó y contabilizó las pupas que fueron removidas por las abejas en 24 horas.

$$CH = \text{Celdillas punzadas (CP)} - \text{Celdillas no limpiadas (CNL)} / \text{Celdillas punzadas (TCP)} \times 100$$

Con base en los valores de CH, las colonias se clasificaron en tres categorías de acuerdo con Spivak (1996): Mayor de 95% de pupas removidas, altamente higiénicas (ACH), entre 75 a 95% de pupas removidas, moderadamente higiénicas (MCH) y menos de 75% de remoción, son consideradas con bajo comportamiento higiénicas (BCH).

Producción de miel (PM)

Para determinar la PM, se obtuvo el peso promedio (kg) de 10 bastidores operculados (P1), los cuales después de ser desoperculados y extraída la miel se pesaron nuevamente (P2). La cantidad de miel obtenida se calculó mediante la diferencia de peso (P1 – P2), con esta referencia, la PM de cada colonia, se obtuvo contabilizando el número de bastidores de miel cosechados por colonia, multiplicado por el peso promedio de miel (kg/colonia).

Análisis estadístico

Se determinó la normalidad de los datos mediante la prueba Kolmogorov–Smirnov (K-S). Los datos en porcentaje, fueron transformados mediante la ecuación: $\arcsen[\sqrt{(\%/100)}]$ y los datos en cantidades, fueron transformados, mediante la ecuación $\ln(x)$ (Quezada-Lucio, 2017). Se realizaron análisis de varianza de una vía y pruebas de medias (Tukey al 95% de confianza) cuando fue necesario, así como correlaciones de Pearson (*r*), entre las variables, utilizando el software estadístico MINITAP versión 21.1.0.

Resultados

De la prueba K-S, se obtuvieron los siguientes valores: CH (%) (K-S=0.107; P=0.000), PM (kg/colonia): (K-S=0.273; P=0.000). Dado que los valores (P≤0.05), se confirma que las variables bajo estudio no siguen una distribución normal por lo cual, se realizaron las transformaciones respectivas. De acuerdo con Gramacho y

Goncalves (2002) las colonias son higiénicas, ya que como puede observarse en la figura 1, el CH promedio general del apiario 1 fue $92.6 \pm 4.30\%$ (Mínimo 82.5%; máximo 100%), la PM=35.6±4.1kilos/colonia (Mínimo 25; máximo 41kilos/colonia). El apiario 2 mostró CH=89.5±11.6% (Mínimo 48.2%; máximo 100%), con PM=36.1±6.4kilos/colonia (Mínimo 25; máximo 46kilos/colonia). Diferencias no significativas entre apiarios en ambas variables (CH: $P=0.816$; kilos/colonia: $P=0.947$). No se encontró correlación significativa entre estas variables ($r=-0.033$; $P=0.779$).

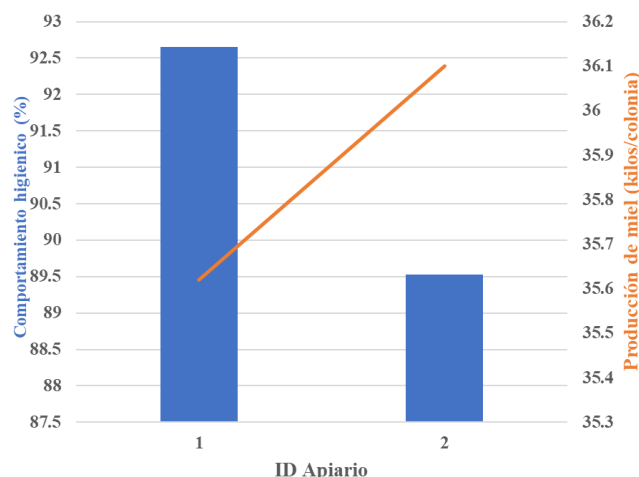


Figura 1.- Valores promedio del comportamiento higiénico y producción de miel, de apiarios ubicados en comunidades rurales del municipio de Comalcalco, Tabasco (ID Apiario 1= Centro Tular 2da Sección; ID Apiario 2= Ranchería Cocohíte). De acuerdo con el ANOVA de datos transformados, las diferencias estadísticas son no significativas entre apiarios para ambas variables estudiadas (CH: $P=0.816$; PM: $P=0.947$).

Los valores obtenidos, indican gran heterogeneidad en las colonias dentro de cada apiario. En el apiario 1, no se encontraron abejas con BCH, el 62% expresó MCH y el 38% ACH. En PM, el 30% de las colonias produjo ≤ 35.6 kilos/colonia, el 22% un rango de >35.6 hasta ≤ 40 kilos/colonia, mientras que el 10% produjo >40 kilos/colonia. En el apiario 2, se encontró 13% de colonias con BCH, 42% expresó MCH y el 45% ACH. En PM, el 48% de las colonias produjo ≤ 36.1 kilos/colonia, el 30% un rango de >36.1 hasta ≤ 40 kilos/colonia, mientras que el 23% produjo >40 kilos/colonia. De acuerdo con SIAP, (2022), estos rendimientos son superiores a la producción promedio nacional (27.89kg/colonia), y superiores a la media estatal (32.58kilos/colonia). Sin embargo, Contreras-Ramírez *et al.* (2016), en los municipios Huimanguillo, Centla y Tacotalpa Tabasco, reportaron una producción media de 23.58kg/colonia, 48.81kg/colonia y 72.74kg/colonia respectivamente. La PM promedio de ambos apiarios analizados en la presente investigación, es inferior a los 40.8 ± 6.7 kg/colonia, reportados por Tapia-González *et al.* (2021) en abejas seleccionadas en la región montaña y en la región valles del estado de Jalisco. Medina-Cuellar *et al.* (2014) mencionan que las fluctuaciones climáticas, provocan variabilidad interanual de los rendimientos de miel, dada su influencia sobre las características fenológicas de las abejas y las fuentes de néctar, distribuidas dentro del rango de pecoreo de los apiarios. Las condiciones ambientales (clima, temperatura, humedad) producen un mosaico ecológico de agroecosistemas tropicales, que influyen y favorecen la apicultura en el estado de Tabasco (Palma-López *et al.* 2011), lo anterior, explica las diferencias en producción obtenidas en diferentes municipios del estado de Tabasco.

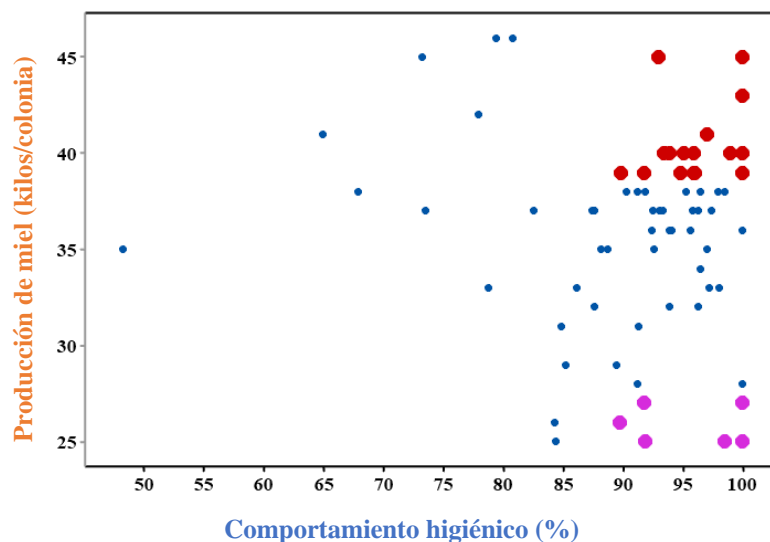


Figura 2.- Intersección de las variables: Colonias con ACH/baja producción de miel (●). Colonias con ACH/alta producción de miel (●).

Comentarios finales

Como puede observarse en la figura 2, la no correlación entre CH y PM, se refleja principalmente en colonias con ACH y baja PM (Ejemplo: CH=100%; PM= 28 kilos/colonia). Se tomó el criterio de seleccionar las colonias que mostraron los valores más altos a partir de: CH \geq 95%; PM \geq 40 kilos/colonia. En el apiario 1 se seleccionaron 3 colonias (8%) y en el apiario 2 se seleccionaron 5 colonias (13%), destacándose 3 con CH=100%; PM \geq 43 kilos/colonia. El hecho de que las variables estudiadas no están correlacionadas, evidencia que los resultados están afectados por otros y diversos factores, los cuales deberán analizarse en investigaciones futuras, así como la inclusión de otros apiarios ubicados en diferentes comunidades con agroecosistemas diferentes. Sin embargo, estos resultados muestran las posibilidades de contar con germoplasma de abejas muy adaptadas, con potencial de selección y reproducción con fines de mejoramiento genético, no obstante, deben realizarse esfuerzos enfocados para incrementar la PM, por ello la importancia de explorar nuevos entornos agroecológicos.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto de investigación: Selección de abejas progenitoras (*Apis mellifera*), con base en criterios de comportamiento defensivo, sanitario, reproductivo y producción de miel. Proyecto: 11362.21-P. A la Sociedad Apicultores Unidos de Comalcalco, por su valiosa colaboración. A la Dirección de Desarrollo Municipal de Comalcalco, Tabasco, por el apoyo en la vinculación con los productores, así como el acompañamiento logístico para realizar el trabajo de campo en cada una de las comunidades.

Referencias

Contreras-Ramírez, D.N., M. Pérez-León, E. Payró-de la Cruz, G. Rodríguez-Ortiz, E. Castañeda-Hidalgo y R.M. Gómez-Ugalde. "Comportamiento defensivo, sanitario y producción de ecotipos de *Apis mellifera* L. en Tabasco, México", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 7, No. 8, 2016.

Crane, E.E. "Bees and beekeeping: science, practice and world resources", Cornell University Press; Ithaca, NY, USA. 1990.

FAOSTAT. "Base de datos del mundo sobre estadísticas alimentarias y agrícolas". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consultada por Internet el 25 de noviembre del 2022. Dirección de internet: <https://www.fao.org/faostat/es/#home>.

Frantz, L.A.F., D.G. Bradley, G. Larson, y L. Orlando. "Animal domestication in the era of ancient genomics". *Nature Reviews Genetics*, Vol. 21, No. 8, 2020.

Gramacho, K., y L. Gonçalves. "Cría de abejas en función del comportamiento higiénico". XIV Congreso Brasileño de Apicultura, CONBRAPI, Brasil. 16 a 20 de julio de 2002.

Guzmán Novoa, E., y A. Correa-Benitez. "Honey bee selective breeding for resistance against the mite *Varroa jacobsoni* O, *Veterinaria México*", Vol. 27, 1996.

Medina-Cuéllar, S.E., J.M.G. Álvarez-Coque, V.M. Portillo, y G.G. Terrazas. "Influencia de los factores ambientales y de manejo en la segunda temporada de producción de miel de abeja en Aguascalientes, México". *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, Vol. 238, 2014.

Nates-Parra, G. "Genética del Comportamiento: Abejas Como Modelo". *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 16, No. 3, 2011.

Palma-López, D.J., N.C.J. Vázquez, Z.E.E. Mata, C.A. López, G.M.A. Morales, P.R. Chable, y D.Y. Palma-Cancino, "Zonificación de ecosistemas y agroecosistemas susceptibles de recibir pagos por servicios ambientales en la Chontalpa, Tabasco". Primera edición. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Villahermosa, Tabasco, México, 2011.

Payró-García, G., Morejon-Sanchez, J.M., Payró-De La Cruz, E. y Montejo-Zamudio, M.J, "La productividad en el sector apícola del municipio Comalcalco, Tabasco, para el diseño de una propuesta de mejora". *ECORFAN Journal-Republic of Nicaragua*, Vol.7, No.13, 2021.

Quezada-Lucio, N. *Estadística con SPSS 24*. Editorial MACRO. 1ª edición. Surquillo Lima, Perú. 448pp. ISBN: 978-612-304-548-7. 2017.

Rothenbuhler, W.C. "Behavior genetics of nest cleaning in honey bees I. Responses of four inbred lines to disease-killed brood". *Animal Behaviour*, Vol. 12, No. 4, 1964.

SIAP. "Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera". Consultada por Internet el 21 de noviembre del 2022. Dirección de internet: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>.

Silva-Contreras, A., J. Martínez-González, E. Cienfuegos-Rivas, R. López-Zavala, J. Tapia-González, G. Parra-Bracamonte. "Africanización de colonias de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae), presente en el ADN mitocondrial", *Abanico Veterinario*, Vol. 9, No. 1, 2019.

Spivak, M. "Honey bee hygienic behavior and defense against *Varroa jacobsoni*". Department of Entomology, 219 Hodson Hall, University of Minnesota, Saint Paul, MN 55108, USA. (1996)

Spivak M., y D.L. Downey. "Field assays for hygienic behaviour in honey bees (Hymenoptera: Apidae)". *Journal of Economic Entomology*, Vol. 91, No. 1, 1998

Tapia-González, J., T. León-Mantecón, F. Contreras-Escareño, J. Macias-Macias, J. Tapia-Rivera, y E. Guzmán-Novoa, "Influencias climáticas, regionales y cantidad de cría en el comportamiento higiénico de *Apis mellifera*", *Abanico Veterinario*, Vol. 11, 2021.

Vandame, R., S. C.M. Morand, y L.P. Belzunces "Parasitism in the social bee *Apis mellifera*: quantifying costs and benefits of behavioral resistance to *Varroa destructor* mites", *Apidologie*, Vol. 33, 2002.

Wagoner, K.M., M. Spivak, y O. Rueppell "Brood Affects Hygienic Behavior in the Honey Bee (Hymenoptera: Apidae)", *Journal of Economic Entomology*, Vol. 20, No. 20, 2018.

Simulación, Construcción, y Control de un Prototipo para la Producción de Biogás

M. en I. Eddy Abraham Villaseca Alonso¹, M. en C. Irma Nuñez Nakamura²,
Tec. Marco González Luna³

Resumen— El contenido de este informe está dividido en capítulos, en los cuáles se profundiza en la creación del biogás a partir de materia orgánica y el cómo se puede manejar un biodigestor de manera óptima para mejores resultados en la producción de biogás. Se explica una de las mejores maneras de obtención de biogás para su utilización en varios ámbitos de la vida cotidiana como una alternativa a la resolución problemas ambientales como la contaminación del medio ambiente por CO₂. También se abarca temas como la rentabilidad de su uso, funcionalidad e impacto medioambiental en comparación con el gas LP. El proyecto se centra en variables como la temperatura, la presión, la concentración del biogás y la cantidad producida en cierto tiempo.

Palabras clave—biogás, metano, monitoreo, optimización, control.

Objetivo Principal

Diseñar un biodigestor con sensores que faciliten la operación del mismo, así como probar que mezclas de materia orgánica daría un resultado eficiente durante la producción de biogás.

Metas

Meta 1. Búsqueda de información bibliográfica: Seleccionar el mejor método de obtención de biogás tomando en cuenta las fases de desintegración, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, así como su proceso y utilización en el mercado.

Meta 2. Diseño del biodigestor: Realizar una búsqueda del mejor diseño para llevar a cabo la digestión anaerobia dentro él. Aparte de la selección de materiales y su implementación en el programa Pro II.

Meta 3. Simulación de la digestión anaerobia dentro del biodigestor: Introducción de los parámetros de operación al programa Pro II y su puesta en marcha para la simulación.

Meta 4. Integración de los sensores de presión y temperatura: Diseño del programa a implementar junto con los sensores y la optimización del uso de estos mismo en el biodigestor. Análisis de resultados y conclusiones.

Introducción

Meta 1. Búsqueda de información bibliográfica:

Concepto de biogás

El biogás es un tipo de gas que se puede encontrar tanto en medios naturales como en medios que se ambientan específicamente para la producción de este. Sin embargo, aunque este proceso tenga diferentes lugares en donde se produce, las condiciones para que se genere serán las mismas. Debe de haber ausencia de oxígeno en el medio donde bacterias metanogénicas como la *escherichia coli*, *klebsiella pneumoniae*, *enterococcus faecalis*, *proteus mirabilis*, *shigella flexneri*, etc. actuarán para la descomposición de residuos orgánicos en una mezcla de gases que se constituirán por metano, dióxido de carbono, hidrogeno, ácido sulfhídrico, etc. Aunque podemos ver en su composición una mayor presencia de metano (entre 50-70%), por lo que se le puede considerar ideal para su utilización en rubros energéticos y caloríficos. Esto porque un metro cúbico de biogás contiene la energía equivalente a unos 0,6 L de gasóleo.

Esta forma de producción de biogás por descomposición anaeróbica es considerada sumamente útil para evitar el desperdicio de residuos biodegradables ya que no solo produce un combustible de valor, sino que genera un efluente que puede utilizarse como acondicionador de suelo o abono genérico.

Reseña historia del biogás

Las primeras menciones del Biogás se ubican en el año 1600, cuando fue identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Posteriormente, en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India, y en 1896, en Inglaterra las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

¹El M. en I. Eddy Abraham Villaseca Alonso es Profesor de Química en el Instituto Politécnico Nacional, México, villaseca89@gmail.com

² La M. en C. Irma Nuñez Nakamura es Profesora de Química en el Instituto Politécnico Nacional, México, innakamura@gmail.com

³ El Tec. Marco González Luna es Estudiante de Computación en el Instituto Politécnico Nacional, México, marogluna@gmail.com

Durante la Segunda Guerra Mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India. Sin embargo, ello se vio interrumpido por el fácil acceso a los combustibles fósiles. Durante la crisis energética de la década de los 70s se reinició con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo.

El biogás ha sido utilizado para el funcionamiento de sus plantas productoras, en vehículos y en la red de gas comunal de algunas ciudades. En los últimos años se han tenido fructíferos resultados en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico, a través del material de laboratorio, que permitieron el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas para el biogás.

Definición y composición del biogás

Componente	Concentración
Metano (CH ₄)	50 – 75 % (vol)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 45 % (vol)
Vapor de agua (H ₂ O)	2 – 7 % (vol)
Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	20 – 20000 ppm
Nitrógeno (N ₂)	< 2 % (vol)
Oxígeno (O ₂)	< 2 % (vol)
Hidrogeno (H ₂)	< 2 % (vol)

El biogás es un gas renovable, compuesto principalmente por CH₄ y CO₂ obtenido a partir de la degradación anaerobia de una serie de reacciones bioquímicas en la que los residuos orgánicos son degradados por microorganismos. Las principales fuentes de biogás son los residuos ganaderos y agroindustriales, los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas y la fracción orgánica de los residuos domésticos. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso, en la Tabla 1.1 se describen los gases presentes en el biogás.

Las características del biogás dependen del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. Durante el proceso anaeróbico, parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor al de las materias primas. En la tabla 1.2 se describen las características generales del biogás.

Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750 °C
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5 °C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (El olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Usos y aplicaciones del biogás

En la actualidad, el biogás es la única energía renovable que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o como carburante. Puede desde canalizarse para su uso directo en una caldera adaptada para su combustión, a inyectarse previa purificación hasta biometano en las infraestructuras de gas natural existentes, tanto de transporte como de distribución.

Dado que el CH₄ tiene un potencial de calentamiento global 21 veces inferior al CO₂, el aprovechamiento apropiado del biogás tiene un gran potencial para contribuir a reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Producción de biogás

La producción de biogás es un proceso complejo que requiere de la acción coordinada de un grupo de microorganismos especializados en la degradación de una amplia variedad de sustratos orgánicos. (Weber, 2012) La descomposición de estos residuos en el ambiente natural o en reactores especializados, bajo condiciones de anoxia, genera las condiciones imprescindibles para el proceso. Para controlar y eficientizar la digestión anaeróbica de la materia orgánica y producir biogás se utilizan biodigestores, reactores especialmente diseñados para maximizar la eficiencia de conversión de sustratos de energía y obtener subproductos con valor agregado, como biofertilizantes.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno da lugar a una mezcla de gases, conocida como biogás y a una suspensión acuosa o lodo que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005) La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido de humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas, depuradoras de agua residuales urbanas, industriales y domésticas (Silvia M. González).

Bases microbiológicas del proceso anaeróbico.

El proceso de degradación anaeróbica se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Un gran número de microorganismos que trabajan en serie, degradan la materia orgánica en etapas. El proceso global suele dividirse en tres etapas principales, aunque debe entenderse que en los digestores las reacciones ocurren simultáneamente (Menéndez Gutiérrez, 2003).

Hidrolisis o licuefacción

La materia orgánica compleja se degrada por la acción de microorganismos en materia orgánica soluble, lo que genera sustratos para la siguiente etapa. La hidrolisis es la conversión de polímeros en sus respectivos monómeros.

Acidogénesis y acetogénesis

Distintos grupos de microorganismos, denominados acidogénicos y acetogénicos, procesan esa materia orgánica soluble y liberan principalmente hidrógeno molecular, dióxido de carbono y ácido acético. Dado que la acidogénesis es considerada la etapa más rápida del proceso global, resulta fundamental controlarla para evitar que el descenso de pH (acidificación) del medio interfiera con la acción del consorcio microbiano.

Metanogénesis

Es la etapa metabólica del CH₄, producido a partir del ácido acético o de mezclas de H₂ y CO₂, pudiendo formarse también a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol. El rol de las bacterias metanogénicas se define por el tipo de sustrato disponible.

Biodigestor

Es un recipiente o tanque, cerrado herméticamente, donde se lleva a cabo el proceso de la biodigestión. El equipo cuenta con dos partes fundamentales: la cámara de digestión o digestor propiamente dicho, donde los microorganismos degradan la materia orgánica produciendo biogás, y el gasómetro, donde se acumula el biogás generado. Existen diversos modelos y tamaños; y los materiales para su construcción pueden ser mamposterías y hormigón, metal, plásticos u otros. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019)

Principales usos del biogás

Tabla 1.3. Posibles aplicaciones del uso del biogás.

	Electricidad	Calor	Iluminación	Potencia mecánica
Cogeneración	X	X		
Quemadores estufas-infrarrojo		X		
Lámpara		X	X	
Motores				X

El biogás es considerado un sustituto eficiente del gas natural. Por lo que puede cumplir varias de las funciones que el gas natural lleva a cabo (Tabla 1.3), sin embargo, las que más destacan son la producción de energía térmica y electricidad como ya se ha mencionado con anterioridad. En el escrito “Situación actual y escenarios para el desarrollo del biogás en México hacia 2024 y 2030” hecho por la Red Mexicana de Bioenergía, A.C. y la Red Temática de Bioenergía de CONACYT se exponen 4 sectores que se podrían ver beneficiados con la implementación de plantas productoras de biogás: pecuario, plantas de tratamiento de aguas residuales, industrias de alimento y bebidas, y Residuos sólidos urbanos. Aunque el plan de su implementación traiga beneficios

como lo es la multiplicación de producción del biogás por nueve de 2019 a 2030 en México o importantes reducciones de las emisiones de los gases de efecto invernadero (de 160,000 a 930,000 ton de CO₂/año), esta no se puede llevar a cabo debido a la falta de legislaciones sobre el tema.

Mercado del biogás

Este mercado se ve mayormente impulsado por la demanda de electricidad y el actual interés por combustibles alternativos para lograr una forma imperecedera de energía y seguridad, aunque este se podría ver obstaculizado por la falta de entendimiento sobre el biogás como fuente de energía de parte del público en general.

El mercado actual más grande sobre el biogás es en Europa (Figura 1), mismo que vio un alza importante en 2020 con la producción de 167 TWh de biogás generado en 19 000 plantas de biogás según la Asociación Europea de Gas. Aunque esto no significa que fuera de este continente no se le esté prestando atención al tema. A nivel mundial existen cerca de 2691 proyectos de biogás, de los cuales más de

30 ya se encuentran en fase de desarrollo, dos a destacar de estos son la planta de biogás de Hodzo y la de LA Sanitation. Se especula que el mercado del biogás tenga un crecimiento importante en los próximos años debido a que muchos actores en el tema están invirtiendo en proyectos debido a la creciente demanda global de electricidad.

Metodología

Meta 2. Diseño del biodigestor: Construcción y funcionamiento del biodigestor.

En la primera etapa se usó un recipiente de polietilenteraftalato (PET) de 20 litros de capacidad y donde fue



Fig. 1. Crecimiento del mercado del biogás por región

colocada una válvula de bola en la parte superior. Dentro de este recipiente se colocó una mezcla de 3 Kg de materia orgánica (sacarosa) por litro de agua, a una temperatura de 26 °C y posteriormente con ayuda de un baño de calentamiento hasta 43°C debido a que por ser temporada invernal no se alcanzaba la temperatura adecuada para que las bacterias empezaran la descomposición de la materia orgánica.

Sin embargo, después de un proceso de 8 días no se observó un aumento de la presión cuando se abrió la válvula de bola para hacer una purga del CO₂ y aire, por lo que se decidió modificar la mezcla inicial y meter excretas de animales, debido a que contienen el nitrógeno adecuado para la fijación de las bacterias (Figura 2).

La digestión anaeróbica tiene el potencial de convertirse en productores netos de energía renovable. Sin embargo, conduce a la producción de biogás que contiene CO₂ que debe ser eliminado antes de su inyección a la red de gas. El proceso pasa mediante una conversión biológica de CO₂ y H₂ a CH₄, llamada biometanización (Braga Nan et al.,2020; Wise et al., 1978). Durante los tres primeros pasos del proceso de digestión anaeróbica, las bacterias población, transforman grandes polímeros orgánicos en ácido acético, CO₂ y H₂. Finalmente, dos caminos de producción de metano tienen lugar durante la metanogénesis. La forma principal es la producción de metano a partir de ácido acético debido a la conversión por metanógenos acetoclásticos. La segunda forma corresponde a la reacción de biometanización realizada por metanógenos hidrogenotróficos de acuerdo con la siguiente reacción: $4 H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2 H_2O$.

De hecho, el consumo de CO₂ disuelto conduce al consumo de H⁺ según la siguiente equilibrio ácido-base: $CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrow H_2CO_{3(aq)} \leftrightarrow HCO_3^-(aq) + H^+(aq)$ dando con ello un aumento sustancial en el pH de la mezcla lo que también fue necesario controlar porque de lo contrario también se limita la producción de metano y puede apreciarse de manera física por un burbujeo atrapado en la fase líquida que poco a poco sube por diferencia de densidad. El sustrato utilizado como materia prima nutritiva fue un agua residual que produce bioetanol a partir de remolacha azucarera. El pH inicial del agua residual fue de 4,3 llegando a un máximo de 5.5 y fue medido con ayuda de papel perhydron y posteriormente de un medidor analógico de pH.

Primera etapa: estabilización del biodigestor



Fig. 3. Acumulación de gas en el biodigestor



Fig. 4. Análisis cualitativo y cuantitativo del biogás.



Fig. 5. Inicializando el sensor para hacer la lectura del biogás

El biodigestor que inicialmente se usó fue uno de tipo batch, en él se puso inicialmente una cama de sacarosa a fermentar durante 8 días y posteriormente a este paso se dejaron fermentar las excretas durante 21 días más, haciendo las pruebas iniciales para saber la concentración de CH₄ con ayuda del sensor de gases MQ2 debido a que se

observó un aumento de la presión en el recipiente producto de la acumulación del gas antes mencionado como se puede observar en la Figura 3.

Para hacer el análisis cualitativo y cuantitativo de la producción del gas se instaló una manguera en la boca de la válvula de bola y mediante un protoboard para hacer la programación del sensor de gas MQ2, arrojando que el gas que se encuentra en mayor concentración a estas condiciones es el gas metano (CH₄) y tiene una concentración arriba de las 30000 ppm, lo anterior puede afirmarse debido a que la sensibilidad de este tipo de sensores es de máximo esta cantidad. Tal cómo se puede observar en la Figura 4. Cabe recalcar que en este análisis se hacia un barrido de datos para no alterar cada una de las lecturas como se puede apreciar en la Figura 5.

La medición de la temperatura fue realizada con ayuda de un termómetro de mercurio, un sensor de temperatura y un termómetro de infrarrojo, dando un intervalo de lectura entre 40-43 °C al interior del recipiente.

Meta 3. Simulación de la digestión anaerobia dentro del biodigestor:

A continuación, se muestra la simulación que se llevó a cabo en el programa PRO II donde se muestran las reacciones que se lleva a cabo el biodigestor y que sirvieron para la optimización de la reacción en una segunda etapa. Inicialmente se introducen los datos de presión, temperatura y composición de cada una de las corrientes como se aprecia en la Figura 6.

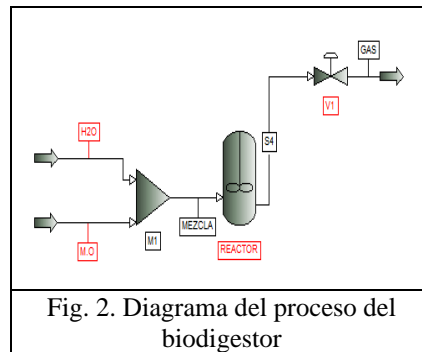


Fig. 2. Diagrama del proceso del biodigestor

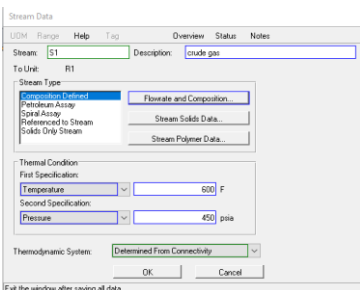


Fig. 6. Datos de entrada en cada una de las corrientes

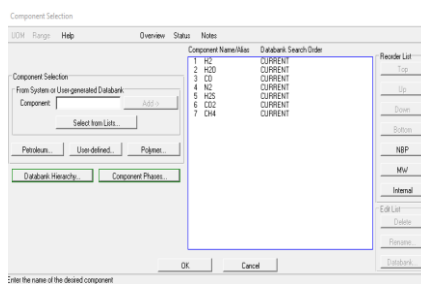


Fig. 7. Datos de entrada en cada una de las corrientes

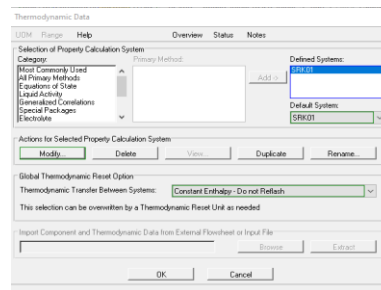


Fig. 8. Datos de entrada en cada una de las corrientes

Posteriormente se seleccionaron los componentes que van en la reacción principal y secundaria con la finalidad de que el programa pueda ejecutar la estequiometría (Figura 7).

A su vez de igual manera se seleccionó el sistema termodinámico que mejor se adaptó a los datos que bibliográficamente mostraba la cinética de reacción (Figura 8).

Posteriormente, una vez con los datos ya definidos al igual que las reacciones se procedió a correr el programa y a obtener los datos para su análisis de cada una de las corrientes como se puede ver en la Figura 9.

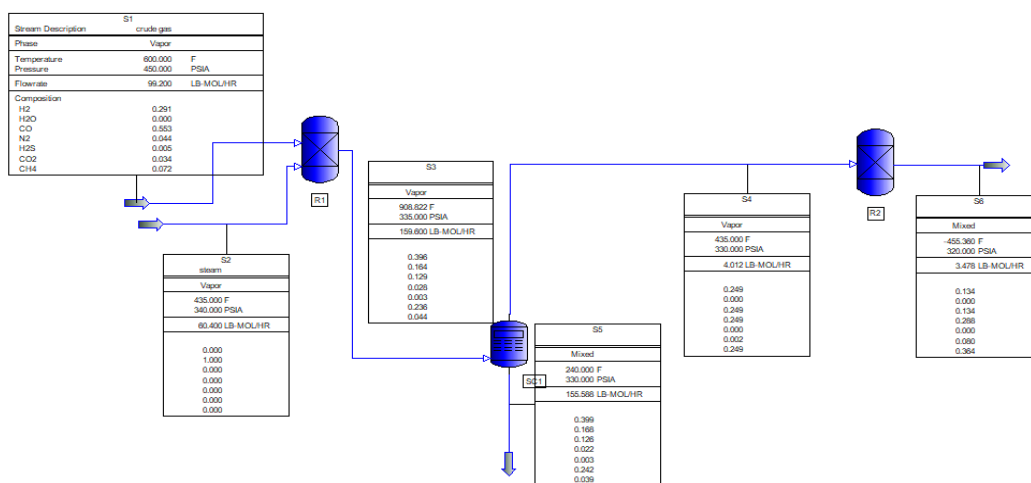


Fig. 9. Simulación del proceso de producción de metano.

Meta 4: Integración de los sensores de presión y temperatura.

Definición de sensor.

El concepto de sensor está íntimamente relacionado con la definición de transductor, ya que un sensor siempre hará uso del anterior. No obstante, la principal diferencia entre ambos radica en que en que el sensor no sólo cambia el dominio de la variable física medida, sino que además la salida del sensor será un dato útil para un sistema de medición. De este modo un sensor se define como un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida por otros dispositivos.

Sensores necesarios para el biodigestor:

El interés que se tiene de los sensores para el biodigestor es medir las variables físicas de temperatura, presión, y concentración de gas para el proceso químico que se va a realizar dentro de este mismo:

- **Sensores de temperatura:** Se considera que la temperatura máxima que se generará en el biodigestor es de 70°C, entonces se debe considerar que el sensor pueda soportar por encima de este rango y que posea las características para introducirlo en el biodigestor. Por lo tanto, el sensor que se propone para monitorear la temperatura es de tipo IC digital, llamado DS18B20, el cual se muestra en la Figura 10.
- **Sensores de presión:** Un sensor de presión es un transductor, en general de tensión eléctrica, que mide la fuerza aplicada por unidad de área. Ahora, para nuestro caso necesitamos utilizar un sensor que permita medir la presión manométrica para así mostrar la presión absoluta dentro del biodigestor. Para este caso, utilizaremos el sensor con matrícula XGZP6847A, que es el que se muestra en la Figura 11.

- **Sensores de gas:** Los sensores de gas son transductores entre una reacción química de un determinado gas y una resistencia de óxido semiconductor y el cambio de resistividad del material con el cual ocurre la reacción. En el caso del sensor a utilizar, MQ2 (Figura 12), los materiales que usan con mayor frecuencia para el microcalefactor son las bobinas de platina recubiertas de alúmina y con un revestimiento de paladio o rodio en un sustrato de thoria.



Fig. 10. Sensor DS18B20



Fig. 11. Sensor XGZP6847A.



Fig. 12. Sensor MQ2.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo se estudió la fermentación de estiércol de vaca el cual fue fermentado para la producción de biogás. Los resultados de la investigación incluyen el análisis y monitoreo del proceso de fermentación, los cuales muestran que es posible la obtención de metano como producto principal del biogás, sin embargo, el porcentaje de CO₂ limita la selectividad de la reacción para la producción de un mayor porcentaje de metano por lo que es necesario eliminar compuestos como el H₂S y CO para aumentar el poder calorífico de la corriente de biogás.

Conclusiones

Con lo observado teórica y experimentalmente, se pueden afirmar lo siguiente:

- La sacarosa es necesaria para promover la producción de CO₂ y su posterior conversión de metano en una etapa inicial.
- Es necesario mantener la temperatura en un rango de 35 a 43 °C.
- La producción máxima de generación del biogás se produce entre los días 21 y 30 a partir de la fijación de la materia orgánica en la sacarosa fermentada.
- La producción de H₂S es considerable por lo tanto es necesario hacer pasar la corriente de gas a en una cama de hierro (Fe) y posteriormente a una trampa de agua con la finalidad de obtener sulfuro de hierro (FeS) y ácido sulfúrico diluido (H₂SO₄/H₂O).
- La presión del sistema no es la necesaria para que el quemador encienda por lo tanto es necesario un medio de almacenamiento provisional para que de esta manera aumente la presión de salida.

Recomendaciones

Los investigadores que quieran continuar este trabajo necesitan tener un medio de calentamiento alternativo, si es que se quiere llevar a cabo este tipo de fermentación en lugares donde el clima es muy frío y por el contrario los investigadores que deseen ampliar este tipo de fermentaciones en climas tropicales tendrán varios puntos a favor como lo son la humedad y la temperatura que serán puntos claves para la fermentación de la materia orgánica.

Referencias

- CFSensor. (s. f.). XGZP6847A Pressure Sensor Module. Recuperado de: https://www.micros.com.pl/mediaserver/CZ_XGZP6847a010kpg_0001.pdf
- Deublein D., S. A. (2008). Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. Weinheim: GmbH & Co KGaA.
- Khan Academy. (s. f.). Sensores (artículo). Recuperado de <https://es.khanacademy.org/computing/ap-computer-science-principles/x2d2f703b37b450a3:computing-innovations/x2d2f703b37b450a3:monitoring-innovations/a/sensor-types>
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. La Habana, Cuba. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Menéndez Gutiérrez, C. L. (2003). Proceso para el tratamiento biológico anaerobio de aguas residuales industriales.
- MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas. (s. f.). Recuperado de: <https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. (2019). GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <http://www.probiomasa.gob.ar/pdf/GuideBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf>
- Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. (2019). DS18B20. Recuperado de: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>
- Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A. & Carreño, J. M. (2014). Sensores y Actuadores. Grupo Editorial Patria.
- Silvia M. González, R. G. (s.f.). Tratamiento de líquidos cloacales. (U. N. Salta, Ed.) Recuperado de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ener>
- Weber, B. (2012). Producción de biogás en México. Ciudad de México: Red Mexicana de Bioenergía.

Diseño Sostenible de una Trituradora Casera de PET

Dr. José Marcos Zea Pérez¹, M.C. Arturo Hernández Hernández², M.C. Brenda Santa Dublan Barragán³, Dra. Lydia Gabriela Ortega Bucio⁴, M.C. Gloria Flor Mata Donjuan⁵, Dr. Víctor Martínez Fuentes⁶

Resumen—

La reducción de la contaminación de los océanos forma parte de los objetivos de sustentabilidad de la agenda 2030 establecida por la ONU. El desarrollo tecnológico puede coadyuvar en alcanzar dicho objetivo mediante el desarrollo de dispositivos que permitan a las personas reducir el impacto ambiental en los océanos ya que anualmente se tiran más de 8 millones de plásticos en los océanos. El presente trabajo muestra el desarrollo del diseño de una trituradora manual casera de PET. El diseño se desarrolló con la implementación de la filosofía de diseño para manufactura sustentable y principios de ecodiseño. Se obtuvo el diseño 3D, los planos de fabricación y hojas de procesos además de una validación de funcionalidad mediante una simulación del mismo. La implementación de este diseño permitirá que los usuarios puedan triturar, transportar y llevar a reciclar mayor cantidad de PET de una forma más cómoda reduciendo de esta manera la huella ecológica.

Palabras clave—Impacto ambiental, trituradora, ecodiseño, PET, huella ecológica, polímero.

Introducción

El plástico está considerado como uno de los inventos industriales más significativos de esta era. Posee excelentes propiedades, como su bajo coste, su gran durabilidad, su baja densidad, su gran resistencia en relación con su peso y su facilidad de manejo y moldeado (Zair et al., 2021).

En México, 90 millones de botellas de refrescos y de agua hechos de Polietileno Teraftalato son lanzados a la vía pública, carreteras, bosques, playas, ríos y mares, lo que genera preocupación a los integrantes de la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Cámara de Diputados (Horacio, 2017). Al año, llegan al mar 8 millones de toneladas de plásticos alterando la vida de los ecosistemas. Uno de los mares más contaminados es el mediterráneo, debido a la basura marina de la cual más del 60% está conformada por plásticos (Aquaefundación, 2021). Se estima que para 2020 serán 500 millones de toneladas, debido a la producción acelerada de plásticos y a que el proceso de degradación del PET en los océanos es más lento que en la tierra (Horacio, 2017).

A partir del 2016, un análisis reveló que se generan más de 1 millón de botellas de PET por minuto en todo el mundo, lo cual equivale a 525,600,000,000 anualmente. Así mismo en este estudio menciona que al realizar limpiezas en los mares, el PET es el segundo plástico más encontrado. Las tres marcas principales en la lista de contaminantes en el mercado son de bebidas en botella PET pertenecientes a Coca-Cola, PepsiCo y Nestlé, y los cuatro principales contaminantes en este análisis son marcas mundiales que producen agua embotellada masivamente (Hofman Justin, 2018). Aquaefundación menciona que el 80% de la basura en el mar es plástico. Así también menciona que 100,000 animales marinos mueren por plástico cada año y hay 700 especies marinas amenazadas por este problema (Aquaefundación, 2023)

La baja biodegradabilidad del plástico lo hace susceptible de ser percibido como comida por los animales de la zona. Esto provoca la proliferación de los llamados microplásticos, que son diminutas piezas de plástico que contaminan el medio ambiente. Los microplásticos se han encontrado en los alimentos que se ingieren, el agua que se bebe o incluso las cremas con las que se hidrata la piel por mencionar algunos ejemplos de ello. Si esta generación de plástico continúa, para el 2050 habrá unos 12,000 millones de toneladas de residuos plásticos en los océanos o contaminando el medio ambiente.

¹ El Dr José Marcos Zea Perez es Profesor – investigador de Ingeniería mecatrónica en la Universidad Politécnica de Querétaro, marcos.zea@upq.mx (autor corresponsal) .

² El M.C Arturo Hernández Hernández es Profesor – investigador de Ingeniería mecatrónica en la Universidad Politécnica de Querétaro, arturo.hernandez@upq.mx

³ La M.C. Brenda Santa Dublan Barragán es Profesora – investigadora de Ingeniería mecatrónica en la Universidad Politécnica de Querétaro, brenda.dublan@upq.mx

⁴ La Dra. Lydia Gabriela Ortega Bucio es Profesora – investigadora de Ingeniería mecatrónica en la Universidad Politécnica de Querétaro, lydia.ortega@upq.mx

⁵ La M.C Gloria Flor Mata Donjuan es Profesora – investigador de Ingeniería mecatrónica en la Universidad Politécnica de Querétaro, gloria.mata@upq.mx

⁶ El Dr. Víctor Martínez Fuentes es Profesor – investigador de Ingeniería mecatrónica en la Universidad Politécnica de Querétaro, victor.martinez@upq.mx

Un estudio reciente en el Centro para la Diversidad Biológica, Barco Lab, la Universidad Autónoma de Baja California Sur, el Laboratorio de Biodiversidad y Conservación Arrecifal de la UNAM, y el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana, demostró el impacto de los microplásticos en peces de importancia comercial en el Golfo de California, el Golfo de México y el Caribe Mexicano. De los 755 peces muestreados, el 20% presentó plástico en su estómago. En la mayoría de los peces se encontró al menos una pieza en su contenido estomacal, pero los investigadores llegaron a encontrar hasta 45 piezas en un mismo pez. Estas cifras muestran como peces comercialmente muy importantes como la lisa, el peto, los pargos, huachinangos o cabrillas presentan microplásticos en su interior, lo que indica que la actividad pesquera podría verse afectada por este tipo de contaminación (Greenpeace México, 2019).

Ante esta problemática, organismos nacionales e internacionales se han dado a la tarea de buscar maneras de reducir o eliminar la cantidad de plásticos que llegan a mares, ríos, océanos y bosques, entre estos están Denature Conservancy (TNC) el cual es un organismo sin fines de lucro que busca ayudar a reducir la huella del plástico. Dentro de sus acciones están: investigación científica, tecnología y concepción de diseños para desarrollar nuevas soluciones que reduzcan los residuos plásticos y políticas de gran alcance para reducir los residuos plásticos (The Nature Conservancy, 2023). Algunos otros organismos se han sumado para poder dar una segunda vida al plástico que ya se ha generado. Ejemplo de ello es PetStart que trabaja en camino a la agenda 2030, contribuyendo a la sustentabilidad global a través de su modelo de negocio sustentable reciclando 3,100 millones de botellas al año para finalmente usarlas en la fabricación de resina reciclada de PET grado alimenticio (PetStar, 2021). Estos procesos de generación de nuevos productos con botellas de plástico pasan por procesos marcados en la norma mexicana (Norma Mexicana, 2011) donde habla de la técnica de reciclado, entre estos está la técnica de reciclado físico que consiste en: compactado, molienda, cribado, granulado o paletizado en frío o caliente envasado. Como se puede ver uno de los primeros pasos es la molienda que consiste en triturar la botella. Si este paso se hace desde el momento que reciclamos la botella podemos reducir espacios en el almacenamiento del PET, así como facilitar el traslado y poder concentrar mayor cantidad en el mismo espacio. Por esta razón se propone el diseño de una trituradora casera para que desde casa, oficina o centro de trabajo se haga esta labor de triturar y compactar al mismo tiempo.

Descripción del Método

La figura 1 muestra el resumen de la metodología implementada la cual consiste en cuatro etapas: 1. Investigación y Estado del Arte, en donde, se realizó una investigación del PET y su impacto en el medio ambiente. Por otra parte, también se investigó qué son las trituradoras, cómo funcionan y los tipos que existen. 2. Diseño Conceptual, se realizó un dibujo a mano alzada de la propuesta de diseño para la trituradora de PET casera. 3. Diseño del Modelo CAD en SolidWorks, se modelaron cada una de las piezas que conforman a la trituradora en el software SolidWorks, así como el ensamble final. Es importante mencionar que se modificaron las dimensiones de la trituradora para que fuera posible su manufactura, considerando la capacidad de cada uno de los procesos de fabricación, así mismo se buscó que fuera compacta y de esta forma también fácil de transportar para el usuario. 4. Diseño de Detalle y Hojas de Proceso. Para esta etapa se realizaron los planos y hojas de proceso de cada una de las piezas, así como también un plano general y un plano explosionado del ensamble final de la trituradora.

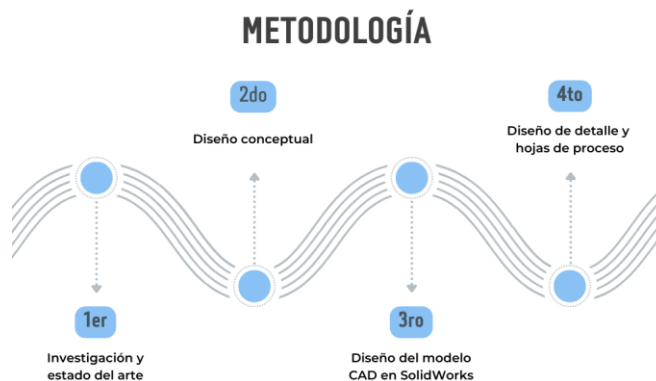


Figura 1 . Etapas del proyecto.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Se obtuvo el modelo geométrico en CAD del prototipo de la trituradora, así como los planos técnicos de cada una de las piezas, el plano general, el plano explosionado del ensamble, en donde se muestran de forma clara cómo están colocadas cada una de las piezas que conforman la trituradora. Así mismo se obtuvieron las hojas de proceso que describen a detalle la forma de manufacturar la trituradora de forma óptima. Terminando, se obtuvo una imagen renderizada del ensamble final, así como una simulación de movimiento para validar su funcionamiento previo a su fabricación.

Diseño conceptual

En la figura 2, se muestra el diseño conceptual el cual cuenta con dos hileras de cuchillas y un contenedor que el usuario podrá retirar cuando lo considere pertinente, del lado derecho se encuentra un par de engranes y una palanca con la que el usuario podrá hacer girar las cuchillas y así triturar las botellas de PET.

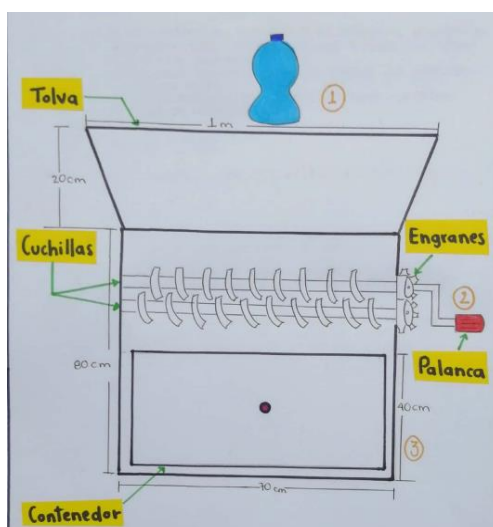


Figura 2. Diseño conceptual

Materiales y procesos

En la tabla 1 se listan los materiales propuestos, así como los posibles procesos que se verían involucrados en la fabricación de la trituradora. Cabe mencionar que se realizaron algunas correcciones, considerando que los materiales tuvieran la resistencia necesaria, que fueran durables y reciclables de tal manera que aportaran al modelo de forma sustentable.

MATERIALES	PROCESOS
Lámina de acero inoxidable 304 calibre 16	Corte y conformado de lámina
Lámina de aluminio 6061 cal. 18	Fresado
Barra de Acero	Soldadura
Remaches	Corte por chorro de agua

Tabla 1. Lista de Materiales y Procesos

Optimización del diseño CAD

En la Figura 3 se muestra la carcasa, esta es una de las piezas principales ya que sobre ella van montados los ejes, cuchillas y engranes. En la Figura 4 se muestra el contenedor, en el cual se recolectarán las piezas de PET, una vez que se hayan triturado.

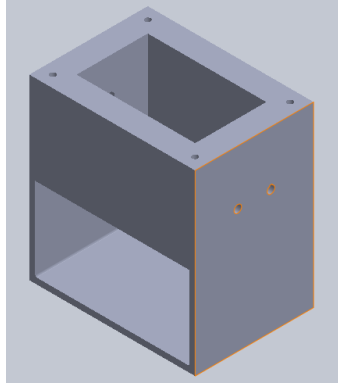


Figura 3 Diseño preliminar de carcasa de la trituradora

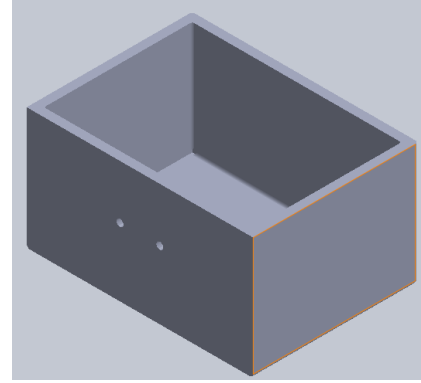


Figura 4 Diseño preliminar de contenedor de la trituradora

En la Figura 5 se muestra una cuchilla que tendrá la función de triturar las botellas de PET. Por último, en la Figura 6 se muestra la tapa, esta va sujeta a la carcasa por medio de tornillos y cuenta con una pequeña tobera por donde se introducirán las botellas a tratar.

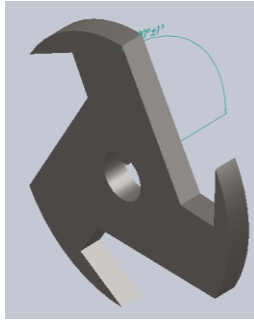


Figura 5 Diseño de cuchilla de trituradora

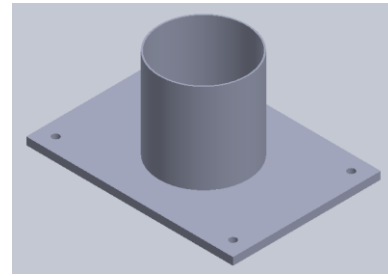


Figura 6 Diseño de tapa de trituradora

Especificaciones del ensamble final

En la Figura 7 se muestra un plano explosionado del ensamble final, en este plano podemos ver cada una de las piezas que conforman a la trituradora.

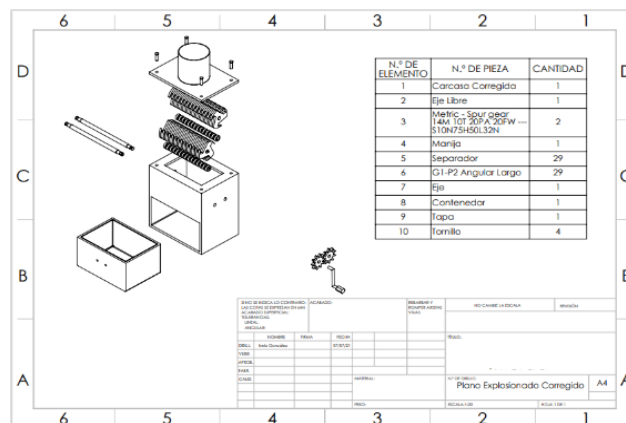


Figura 7 Diseño preliminar de carcasa de la trituradora

Finalmente, en la Figura 8 se muestra un plano general, este plano es muy importante y debe de traer las medidas principales que fueron base para la construcción de la trituradora, de esta manera si este plano se le da a la persona que fabricará y manufacturará la trituradora, podrá realizarlo sin ningún problema.

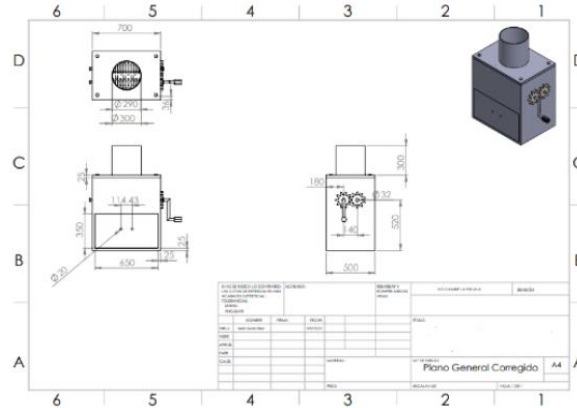


Figura 8 Diseño preliminar de carcasa de la trituradora

Simulación del movimiento

En la Figura 9 se muestra la imagen renderizada, con este diseño se espera que este proyecto pueda ayudar a la sociedad a tomar conciencia sobre el problema actual de contaminación por PET, así como también ayudar al cuidado del medio ambiente.



Figura 9 Imagen renderizada de la trituradora

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitirá coadyuvar al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la ONU, enfocando a un desarrollo tecnológico que contribuya a reducir el problema de la contaminación de los océanos por efectos del plástico.

Se obtuvo un diseño de una trituradora casera de PET manual bajo un enfoque de diseño para manufactura sustentable, considerando las técnicas de desensamblaje y reciclaje para su disposición final. Así mismo se aplicaron conceptos de ecodiseño tales como la durabilidad y reducción de material, estimando que este proyecto pueda ayudar a la sociedad a tomar conciencia sobre el problema actual de contaminación por PET, así como también ayudar al cuidado del medio ambiente.

Referencias

- Zair, M. M. ben, Jakarni, F. M., Muniandy, R., & Hassim, S. (2021). A brief review: Application of recycled polyethylene terephthalate in asphalt pavement reinforcement. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/su13031303>
- AquaeFundación. (2021). *Contaminación del agua: principales causas - Fundación Aquae*. <https://www.fundacionaquae.org/agua-y-contaminacion/>
- AquaeFundación. (2023). *Mar de plástico: cuánto plástico acumulan - Fundación Aquae*. <https://www.fundacionaquae.org/mar-de-plastico-el-80-de-la-basura-en-el-mar-es-plastico/>

- Greenpeace México. (n.d.). *Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México - Greenpeace México*. Retrieved February 12, 2023, from <https://www.greenpeace.org/mexico/publicacion/3377/estudio-sobre-el-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-peces-de-mexico/>
- Hofman Justin. (2018). *Corporativos-que-mas-contaminan-el-mundo-con-plastico. 1*.
- Horacio, J. (2017). *Plantean reforma para regular el uso de PET en el país*. <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/2017/04/14/plantean-reforma-para-regular-el-uso-de-pet-en-el-pais>
- Norma Mexicana. (2011). *IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS*.
- PetStar. (2021). *PetStar*. . <https://www.petstar.mx/>
- The Nature Conservancy. (2023). *The Nature Conservancy: A World Where People & Nature Thrive*. <https://www.nature.org/en-us/>

Notas Biográficas

Dr. José Marcos Zea Pérez, Profesor-Investigador de la Universidad Politécnica de Querétaro con Doctorado en Manufactura Avanzada por el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ), Maestría en Ciencias en Sistemas de Manufactura con especialidad en automatización por el Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro. Actualmente, Líder del cuerpo académico de sistemas inteligentes cultivando las líneas de investigación de automatización y manufactura inteligente de la universidad politécnica de Querétaro. Sus líneas de investigación están relacionadas con manufactura aditiva, automatización y desarrollo de sistemas Mecatrónica con industria 4.0. Autor y co-autor de varios artículos nacionales e internacionales.

M.C. Arturo Hernández Hernández, Profesor-Investigador de la Universidad Politécnica de Querétaro, actualmente estudia el Doctorado en Ingeniería por el Instituto Tecnológico de México campus Querétaro, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño por el Instituto Tecnológico Nacional de México campus Celaya, Guanajuato. Actualmente, miembro del cuerpo académico de sistemas inteligentes desarrollando proyectos relacionados con el diseño mecánico en la Universidad Politécnica de Querétaro. Autor y co-autor de varios artículos nacionales e internacionales.

M.C. Brenda Santa Dúblan Barragan, Profesora-Investigadora de la Universidad Politécnica de Querétaro en Ingeniería Mecatrónica. Es ingeniera en Automatización con línea terminal en Instrumentación y Control de procesos por parte de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), cuenta con Maestría en Ingeniería de Biosistemas por parte de la misma casa de estudios (UAQ). Cuenta con certificaciones en estándares de la red CONOCER, ha impartido cursos para el sector industrial, desde el 2020 cuenta con el reconocimiento de perfil deseable PRODEP. Es miembro del Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE). En el 2021 obtuvo el reconocimiento por parte de Consejo México como Ingeniero Distinguido en la Categoría de Educación. Autora y co-autora de varios artículos nacionales. Cuenta con experiencia en Diseño e Instalaciones Eléctricas.

Dra. Lydia Gabriela Ortega Bucio, Profesora Investigadora de Tiempo Completo en la Universidad Politécnica de Querétaro, en el área de Ingeniería Mecatrónica. Doctorado y Maestría en Mecánica por la Université Joseph Fourier, Grenoble, Francia, Maestría en Educación, Universidad Marista de Querétaro UMQ y Licenciatura como Ingeniera Geóloga por la Universidad Autónoma de México UNAM. Perfil deseable PRODEP, Líder del Proyecto Soft Robotics (Mujeres STEM UPQ), Mentora del programa Mujeres Líderes en STEAM.

M.C Gloria Flor Mata Donjuan, Profesora investigadora de la Universidad Politécnica de Querétaro en el área de mecatrónica. Su maestría en Ingeniería en Biosistemas por la Universidad Autónoma de Querétaro y licenciatura en Ingeniería en Computación por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Es docente en materias de Programación, digitales y mantenimiento.

Dr. Victor Martínez Fuentes, Profesor investigador de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Politécnica de Querétaro. Obtuvo su grado de maestro y doctor en el CICATA-IPN unidad Querétaro. Tiene tres patentes sobre instrumentos térmicos y artículos relacionados a la medición de temperatura. Dos libros publicados sobre Metrología. Actualmente es consultor en metrología en algunas empresas de evaluación de la conformidad.